

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**NATÁLIA SUSKI
SABRINA MEES**

**ESTRATÉGIA PARA AUXILIAR NA AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO OS CRITÉRIOS DA NBR
15.575-4 APOIADOS PELO USO DE METODOLOGIA BIM: Estudo de
caso para Florianópolis**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**NATÁLIA SUSKI
SABRINA MEES**

**ESTRATÉGIA PARA AUXILIAR NA AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO OS CRITÉRIOS DA NBR
15.575-4 APOIADOS PELO USO DE METODOLOGIA BIM: Estudo de
caso para Florianópolis**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora:
Profa. Dra. Ana Lígia Papst de Abreu

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Sabrina Mees, Natália Suski
**ESTRATÉGIA PARA AUXILIAR NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
TÉRMICO SEGUNDO OS CRITÉRIOS DA NBR 15.575-4 APOIADOS PELO
USO DE METODOLOGIA BIM: estudo de caso para Florianópolis**
/ Natália Suski Sabrina Mees; orientação
de Ana Lígia Papst de Abreu. - Florianópolis, SC,
2022.
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico
de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. Desempenho térmico. 2. NBR 15.575-4. 3. BIM.
4. Verificação automática de regras. 5. Solibri. I. Papst
de Abreu, Ana Lígia . II. Instituto Federal de Santa
Catarina. III. **ESTRATÉGIA PARA AUXILIAR NA AVALIAÇÃO
DE DESEMPENHO TÉRMICO SEGUNDO OS CRITÉRIOS DA NBR 15.575-4
APOIADOS PELO USO DE METODOLOGIA BIM.**


**ESTRATÉGIA PARA AUXILIAR NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
TÉRMICO SEGUNDO OS CRITÉRIOS DA NBR 15.575-4 APOIADOS PELO USO
DE METODOLOGIA BIM: ESTUDO DE CASO PARA FLORIANÓPOLIS**

**NATÁLIA SUSKI
SABRINA MEES**


Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro em 26 de Julho de 2022 e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 26 de Julho, 2022.


Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ANA LÍGIA PAPST DE ABREU
Data: 17/08/2022 17:31:08-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Ana Lígia Papst de Abreu
Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 CARLA BEDIN
Data: 22/08/2022 08:20:21-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Eng. Civil Carla Bedin
Otus Engenharia

Documento assinado digitalmente
 MIGUEL CORREIA DE MORAES
Data: 22/08/2022 16:43:58-0300
CPF: 041.503.314-48
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Prof. Mestre Miguel Correia de Moraes
Instituto Federal de Santa Catarina

Aos nossos queridos pais, que tanto admiramos, nossos maiores incentivadores das realizações de nossos sonhos, dedicamos o resultado do esforço realizado ao longo deste percurso.

AGRADECIMENTOS

Cada qual com quem compartilhamos reflexões durante este processo, fossem as ideias presentes neste trabalho, ou fossem sentimentos quaisquer envolvendo a motivação necessária à conclusão dele, merece ser lembrado nestas palavras pois é fato que ninguém é capaz de desenvolver qualquer ideia sozinho. O suporte existe em momentos onde a própria motivação interior se faz questionar e, a todos aqueles que nos auxiliaram, nossa profunda gratidão.

Cursar engenharia não é uma tarefa fácil. Em diversos momentos tivemos que abdicar de momentos em família ou entre amigos em prol de nossa formação. Agradecemos aos nossos colegas por terem deixado essa jornada um pouco mais leve. Agradecemos aos que sentiram nossa falta, nos momentos em que foi necessário focar na nossa formação. Aqueles que, mesmo distantes, nos acompanharam e nos guiaram por todos os dias. Aos que não fazem a menor ideia do quão importante foram, mas que, durante este processo, acreditaram em nós.

Incluimos nestas palavras com enorme apreço e carinho, nossos respectivos namorados, pais, irmãos, demais familiares e amigos. Cada um deles, não importa quão longe, quão perto, estiveram ao nosso lado sendo grandes incentivadores do nosso sucesso

Incluimos também nossa estimada orientadora, Ana Lígia Papst de Abreu, que investiu toda sua atenção e sabedoria, sempre acreditando e nos inspirando, mantendo alimentada nossa persistência, dando todo suporte técnico e emocional para que essa reta final fosse da maneira mais leve possível. E também todo o corpo profissional acadêmico que esteve presente de forma direta e indireta.

Agradecemos a parceria uma da outra que desde o primeiro dia da faculdade, no momento em que todos estávamos perdidos diante de um mundo diferente e desconhecido de possibilidades, foi um conforto naquele ambiente novo e um apoio nos anos posteriores.

Nossos agradecimentos também à Otus Engenharia, empresa que nos possibilitou grande parte da execução do presente trabalho.

A todos que compartilharam do nosso sentimento de cumprimento de mais uma etapa da vida, nossos sinceros agradecimentos.

“Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez”. Thomas Edison.

RESUMO

Diante do crescimento no setor da construção civil no Brasil, as discussões que tangem o desempenho de edificações passaram a ganhar espaço no país. Dessa forma, a norma “ABNT NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho” entrou em vigor em 2013, tendo uma nova versão atualizada em 2021, gerando um enfoque maior no desempenho das edificações através das grandes alterações realizadas na avaliação de desempenho térmico. O objetivo proposto para este trabalho de conclusão de curso é o desenvolvimento de uma estratégia para auxiliar na avaliação do desempenho térmico segundo os critérios da NBR 15.575-4 apoiados pelo uso da metodologia BIM para projetos arquitetônicos residenciais na cidade de Florianópolis, através do método simplificado. Tendo em vista que uma parte significativa das exigências desta norma refere-se aos projetos, a verificação automática de parâmetros normativos por meio de regras introduzidas nos sistemas computacionais tem-se mostrado eficiente, na medida que reduz o tempo de verificação e análise dos projetos e ainda pode contribuir para aumentar a precisão dos resultados (Rodrigues, 2015). Neste contexto, buscou-se: (a) Desenvolver, especificamente para o clima da cidade de Florianópolis, uma ferramenta visual (fluxograma do passo-a-passo) que possibilite compreender o método simplificado da nova versão de avaliação de desempenho térmico da NBR 15.575-4 (ABNT, 2021); (b) Elaborar uma ferramenta (checklist) prática de aferição dos critérios para a avaliação, e do atendimento ao desempenho térmico pelo método simplificado da NBR 15.575-4 (ABNT, 2021) de projetos a serem implantados na cidade de Florianópolis; (c) Listar parâmetros e informações necessários em projetos BIM, para que possam ser extraídos dados de forma facilitada para avaliação do desempenho térmico pelo método simplificado da NBR 15.575-4; (d) Parametrizar um conjunto de regras do Solibri Model Checker para uso em modelos de construção virtual BIM, com o intuito de atender às exigências de projeto da parte térmica da NBR 15.575-4; (e) Avaliar formas de traduzir as diretrizes normativas de desempenho térmico para a linguagem do Solibri Model Checker; (f) Descrever o passo a passo através de um modelo teste para que o processo de automatização no Solibri possa ser replicável por projetistas e analistas; (g) Testar e avaliar a parametrização proposta em um empreendimento modelado através do software Revit. Com a aplicação da estratégia proposta, observou-se que este método mostrou-se mais viável em relação ao processo manual de conferência dos projetos quando seguidos requisitos estabelecidos no início da sua concepção que facilitam a extração de dados de forma rápida e em grande escala. A presente proposta pode ser ampliada para outras categorias da norma de desempenho.

Palavras-chave: Desempenho térmico; NBR 15.575-4; BIM; Verificação automática de regras; Solibri.

ABSTRACT

Faced with the growth in the civil construction sector in Brazil, discussions regarding the performance of buildings began to gain space in the country. In this way, the standard “ABNT NBR 15575 – Housing Buildings – Performance” came into force in 2013, with a new version updated in 2021, generating a greater focus on the performance of buildings through major changes made in the assessment of thermal performance. The proposed objective for this course conclusion work is the development of a strategy to assist in the evaluation of thermal performance according to the criteria of NBR 15.575-4 supported by the use of the BIM technology for residential architectural projects in the city of Florianópolis, through the simplified method. Considering that a significant part of the requirements of this standard refers to projects, the automatic verification of normative parameters through rules introduced in computer systems has proved to be efficient, as it reduces the time of verification and analysis of projects and can still contribute to increase the accuracy of the results (Rodrigues, 2015). In this context, we sought to: (a) Develop, specifically for the climate of the city of Florianópolis, a visual tool (step-by-step flowchart) that makes it possible to understand the simplified method of the new version of thermal performance evaluation of NBR 15.575 -4 (ABNT, 2021); (b) Develop a practical tool (checklist) for gauging the criteria for the evaluation, and compliance with the thermal performance by the simplified method of NBR 15.575-4 (ABNT, 2021) of projects to be implemented in the city of Florianópolis; (c) List parameters and information required in BIM projects, so that data can be easily extracted for thermal performance evaluation by the simplified method of NBR 15.575-4; (d) Parameterize a set of Solibri Model Checker rules for use in BIM virtual construction models, in order to meet the design requirements of the thermal part of NBR 15.575-4; (e) Evaluate ways to translate the thermal performance regulatory guidelines into the Solibri Model Checker language; (f) Describe the step by step through a test model so that the automation process in Solibri can be replicated by designers and analysts; (g) Test and evaluate the proposed parameterization in an enterprise modeled using Revit software. With the application of the proposed strategy, it was observed that this method proved to be more viable in relation to the manual process of checking projects when following requirements established at the beginning of its conception that facilitate the extraction of data quickly and on a large scale. This proposal could be extended to other categories of the performance standard.

Keywords: Thermal performance; NBR 15,575-4; BIM; Automatic rule checking; Solibri.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Fluxograma síntese do TCC	26
Figura 02	Organização esquemática do texto do TCC	28
Figura 03	Área útil de ventilação para diversos tipos de janela	31
Figura 04	Diagrama de procedimento simplificado de avaliação do desempenho térmico	34
Figura 05	Representação em corte de um ambiente para delimitação do AVS	38
Figura 06	Dimensões do BIM	42
Figura 07	Relação entre Níveis de desenvolvimento, Detalhe e Informação	43
Figura 08	Fluxo de projetos em BIM	52
Figura 09	Curva de McLeamy associada às etapas do projeto e o processo BIM	57
Figura 10	Fluxograma das etapas de pesquisa	63
Figura 11	Localização do edifício A	64
Figura 12	Zonas Bioclimáticas	64
Figura 13	Imagem comercial do Edifício A	65
Figura 14	Sistema de vedação externa	66
Figura 15	Paredes de fachada	68
Figura 16	Laje de cobertura	68
Figura 17	Composição da parede estabelecida no projetee	72
Figura 18	Dados obtidos no projetee	72
Figura 19	Planta baixa projeto teste	74
Figura 20	Pset	75
Figura 21	Classification Settings	76
Figura 22	Nomenclatura de ambiente	77
Figura 23	Nomenclatura de ambiente	78
Figura 24	Regra de condição	79

Figura 25	Regra de análise de ventilação e iluminação	79
Figura 26	Áreas de ventilação f. sul	81
Figura 27	Áreas de ventilação demais f.	81
Figura 28	Áreas de elementos transparentes acima de 30% (fachada sul)	82
Figura 29	Áreas de elementos transparentes acima de 20% (demais fachadas)	82
Figura 30	Esquadrias fachada S e O	84
Figura 31	Esquadrias fachada N e L	84
Figura 32	Análise de atendimento à área mínima de ventilação e área máxima de elementos transparentes para fachadas sul	86
Figura 33	Área de elementos transparentes acima de 20% da área de piso	86
Figura 34	Área de elementos transparentes acima de 20% da área de piso.	87
Figura 35	Fluxo de Projetos em BIM com a incorporação da avaliação de desempenho da NBR 15.575	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Proporção de referência dos elementos transparentes	37
Tabela 02 -	Percentual de elementos transparentes em função do ângulo vertical de sombreamentos para UH localizadas nas zonas bioclimáticas 3 a 8	39
Tabela 03 -	Metodologia Resumida do Trabalho	61
Tabela 04 -	Dados do projeto	66
Tabela 05 -	Requisitos para modelagem de projeto	67
Tabela 06 -	Dados de esquadrias e ambientes	80
Tabela 07 -	Dados dos ambientes	81
Tabela 08 -	Cálculo ventilação e elementos transparentes	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
APP	Área de permanência prolongada
Ap,APP	Área de piso do APP
Ap,UH	Soma das áreas de piso de todos os APP da Unidades Habitacionais
AsBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
ASHARE	Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado
ASTM	American Society for Testing and Materials
At,APP	Soma das áreas das superfícies dos elementos transparentes do APP
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
BIM	Building Information Modeling
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CTpar	Capacidade Térmica
DNA	Definições de Particularidades Construtivas de Cada Empresa
FS	Fator Solar
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
I	Intermediário
IEA	Agência de Energia Internacional
IPD	Desenvolvimento Integrado de Empreendimentos
ISO	Organização Internacional de Normalização
IFC	Industry Foundation Classes
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
M	Médio
NBR	Norma Brasileira
PEB	Plano de Execução BIM

PMF	Prefeitura Municipal de Florianópolis
PSet	Property Sets
PV,APP	Percentual de abertura para ventilação
Pt,APP	Percentual de elementos transparentes
R	Resistência térmica de elementos e componentes
RIE	Requisitos de Informação do Elementos
S	Superior
SMC	Solibri Model Checker
SVVE	Sistemas de Vedações Verticais Externas
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
U	Transmitância Térmica
Ucob	Transmitância Térmica da Cobertura
Upar	Transmitância Térmica das Paredes Externas
UH	Unidade Habitacional
ZB	Zona Bioclimática
2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
4D	Tempo
5D	Custo
6D	Sustentabilidade
7D	Gestão de Ativos
8D	Segurança

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
Justificativa	23
Definição do Problema	24
Objetivo Geral	25
Objetivos Específicos	25
Estrutura do Trabalho	26
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
Desempenho Térmico	29
Normatização visando desempenho térmico	32
Área de Ventilação	35
Área de Elementos Transparentes	36
Modelagem da informação na Construção	40
Verificação automática de regras de projeto	45
Vantagens do uso do BIM	47
Processo de Projeto em BIM	50
Projeto em BIM e a interoperabilidade	53
Projeto BIM e desempenho térmico	56
METODOLOGIA	59
Etapas	60
Objeto de Estudo	65
APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	69
Fluxograma das etapas de avaliação do desempenho térmico pelo Método Simplificado.	69
Lista de aferição (Checklist) da avaliação do desempenho térmico pelo Método Simplificado.	70
Estudo de estratégias de avanço para análise da automatização da extração de informações em arquivo BIM	71
Procedimento de automatização da verificação de iluminação e ventilação com base no procedimento simplificado da NBR 15575-4	74
Análise de dados do projeto teste	80
Análise de dados aplicando as regras no modelo BIM do projeto gerado em Revit	84

Análise de dados aplicando as regras ao modelo BIM em formato .IFC do projetista arquitetônico	87
CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	91
REFERÊNCIAS	92
APÊNDICES	101

1.INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos, diversos avanços relacionados às novas soluções construtivas que desenvolvam a sustentabilidade foram promovidos na sociedade. Cada vez mais as novas gerações buscam por ambientes de trabalho, locais de lazer ou de moradia que possuam menor desperdício de bens naturais assim como maior eficiência no aproveitamento destes recursos. Com o consumo crescente de energia e a preocupação com os impactos desse aumento no meio ambiente, o setor de construção civil vem buscando novas soluções que garantam a qualidade do ambiente interno, aliadas a uma maior eficiência energética da edificação.

A operação de edificações residenciais, comerciais e públicas é responsável pelo consumo de 51% do total de energia elétrica utilizada no Brasil (EPE, 2019a) e aproximadamente 25% do consumo de energia primária a nível mundial (GONÇALVEZ; BODE, 2015). Em termos de emissões por habitante, cada brasileiro, produzindo e consumindo energia em 2021, emitiu em média 1,9 toneladas de CO_{2-eq} (EPE, 2019a). A redução do consumo de energia e a geração de energia por fontes locais e alternativas, portanto, torna-se essencial para a mitigação dos danos ambientais relacionados à geração energética.

Adalberth (1997) aponta que cerca de 85% do total de energia consumida durante o ciclo de vida de uma edificação residencial, que inclui construção, uso e demolição, se dá na etapa de uso. No Brasil, com relação aos dados de consumo energético do ano de 2021, as edificações residenciais foram responsáveis por 10,9% do consumo de energia nacional, ficando atrás do setor de transportes (32,5%) e industrial (32,3%). No consumo residencial de energia, a fonte prioritária é a eletricidade, respondendo por 45,4%. A eletricidade é usada na iluminação, refrigeração de ambientes e uso de eletrodomésticos em geral. (EPE, 2022).

A eficiência no uso final da energia, conhecida como eficiência energética, visa controlar a demanda de energia sem deixar de atender às diferentes necessidades da sociedade em relação a serviços energéticos fundamentais que, no setor da operação de edificações, abrangem a iluminação e o aquecimento/resfriamento de ambientes e água (BRASIL, 2011). Nesse contexto, segundo a EPE (2020), as práticas, que incluem evitar desperdícios e realizar mais funções com a mesma quantidade de energia, são fundamentais para a segurança energética, garantindo maior produtividade e competitividade, e reduzindo os danos sobre o meio ambiente. A Agência Internacional de Energia (IEA, 2016) define segurança energética como a oferta e disponibilidade de serviços energéticos a todo momento, em quantidade suficiente e a preços acessíveis. Estes preceitos são considerados na Política Energética Nacional – Lei nº 9.478/1997 (BRASIL, 1997)

Segundo o Programa de Energia em Edificações e Comunidades da Agência de Energia Internacional – IEA (2016), o desempenho energético é influenciado, na prática, por seis fatores principais, sendo três deles físicos e fixos (clima; envoltória da edificação; e os serviços e sistemas energéticos da edificação), e outros três relacionados aos usuários (operação e manutenção; atividades e comportamentos dos ocupantes; e condições ambientais interiores). As decisões referentes ao projeto de uma edificação, influenciam o consumo de energia que vai ocorrer durante todo o período de uso de uma edificação (AGOPYAN e JOHN, 2011). Um exemplo: uma maior demanda energética devido ao acionamento do condicionamento de ar (desconforto térmico do usuário), em função de uma deficiência na ventilação natural da edificação (desempenho térmico inadequado ao clima), que pode ter ocorrido devido a um equívoco de projeto.

Na Europa, a preocupação com o desempenho das edificações teve início a partir do momento em que se iniciou a reconstrução das cidades, após a Segunda Guerra Mundial. Pois devido à necessidade de rápida reconstrução de moradias, foram desenvolvidos sistemas tecnológicos dos quais muitos se mostraram ineficientes e, por isso, começou-se a estabelecer critérios de desempenho e a avaliar a segurança desses sistemas (KELLETT, 1990).

No entanto, somente na década de 90 surgiram os requisitos de desempenho para as edificações no Brasil. Sendo assim, muitos dos envolvidos na indústria da construção civil ainda não estão preparados para atender ao desempenho mínimo requerido para os seus sistemas. Uma vez que:

O conceito de desempenho é recente, principalmente no Brasil, e que a indústria da construção civil não está preparada para atender completamente os requisitos e critérios estabelecidos pela Norma , devido a falta de laboratórios de ensaios e do comprometimento dos fornecedores de materiais em colocar no mercado materiais com desempenho satisfatório (SANTOS FILHO, 2015, p. 1).

Segundo AsBEA (2012), o desempenho do edifício é parte do conceito mais amplo de “sustentabilidade” e se refere ao produto e ao processo da obra. O produto deve ter um comportamento adequado de uso e operação durante todo o seu ciclo de vida, enquanto o processo de produção deverá ter um impacto controlado no ambiente de custos ao longo da vida útil do edifício. Desta forma, não cabe no conceito de sustentabilidade um edifício que não assegure níveis mínimos de eficiência energética no produto e no processo.

Para garantir que o conceito de sustentabilidade seja o mesmo, foram estabelecidas no Brasil, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, normas que estabelecem os requisitos de desempenho das edificações e normas prescritivas. A norma de desempenho, NBR 15.575, é responsável por estabelecer os requisitos dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas quanto ao comportamento durante o uso e não em relação a como os sistemas são constituídos. Essa avaliação conta com requisitos, critérios e métodos que auxiliam na análise. Já as normas prescritivas estabelecem requisitos com base no uso consagrado de produtos ou procedimentos, buscando o atendimento aos requisitos dos usuários de forma indireta. (ABNT, 2021). Desta forma, podemos observar as normas de desempenho como complementares às normas prescritivas.

A norma de desempenho tornou-se obrigatória no Brasil a partir de julho de 2013. Sendo inspirada por normas estrangeiras, ela abrange diversas análises que levam em conta os requisitos do usuário para utilização de determinados espaços

dentro da habitação. Cada vez mais o usuário demonstra uma preocupação em reduzir impactos coletivos (como os ambientais), e individuais (como o econômico). Neste contexto, o desenvolvimento do desempenho térmico das edificações tornou-se um dos focos de pesquisa para especialistas e pesquisadores da construção civil, tanto que a NBR 15.575 (ABNT, 2021a, b e c) teve a sua versão na parte térmica revista no ano de 2021.

Essa norma também tem o intuito de regular e avaliar o edifício em relação ao seu comportamento em uso, frente às necessidades dos usuários e à finalidade para a qual foi projetada (LORENZI, 2013). Ou seja, o foco dos profissionais deve estar nos fins, através dos atributos técnicos da edificação, e não nos meios no que se refere ao seu ciclo de vida (FOLIENSTE et al., 2005). Nicoline (2015) sugere que os municípios passem a incorporar a Norma de Desempenho aos códigos de obras e implementem uma política urbana para assegurar o cumprimento das suas funções sociais. Isso porque, o Código de Obras é o instrumento legal que estabelece os procedimentos relativos à atividade construtiva, e deve contribuir para a qualidade das obras e do ambiente urbano. O autor afirma que a legislação deve, portanto, acompanhar o desenvolvimento e aprimoramento da indústria da construção civil, para garantir a melhoria da qualidade da edificação em todas as suas fases. E que os municípios passem a exigir um maior detalhamento dos projetos arquitetônicos e complementares bem como dos seus memoriais descritivos.

Especificamente com relação à Prefeitura Municipal de Florianópolis, a Lei 707/2021 (PMF, 2021) revogou alguns artigos do Código de Obras Municipal. O objetivo desta lei faz parte de uma série de medidas para emissão automática do Alvará de Construção, após checagem de documentos auto declaratórios emitidos pelo proprietário e pelos responsáveis técnicos. Concomitante a esta lei, a PMF vem desenvolvendo encontros junto com a comunidade envolvida com construção civil, para discussão da proposta de criação de lei de eficiência energética em edificações. A ideia desta nova lei é utilizar o atendimento dos critérios de desempenho térmico e lumínico da NBR 15.575. Assim, uma lei municipal de eficiência energética em edificações não precisa ser atualizada, pois remete a uma

norma brasileira que está em evolução e revisão em função das necessidades da própria sociedade. Segundo Souza (2015), as leis e as normas que regulamentam o setor da construção também estão em constante evolução. É um reflexo de um processo de transformação da sociedade e do perfil dos consumidores brasileiros. Temas como qualidade, desempenho, gestão, sustentabilidade e tecnologia ganham mais importância e se consolidam no setor da construção.

A preocupação com o desempenho final da edificação está cada vez mais presente nas obrigações dos profissionais envolvidos na construção civil, com isso o uso da metodologia BIM (“Building Information Modeling” ou Modelagem da Informação) vem cada vez mais ganhando espaço dentro do setor de Construção. Projetos estão deixando de ser uma representação geométrica 2D e se tornando um banco de dados de informações modeladas utilizando BIM. O Webinar Liga BIM Prefeituras é um encontro on-line que reúne profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público onde o intuito é discutir as dificuldades encontradas para a adoção do BIM, assim como compartilhar as soluções já encontradas por alguns órgãos. Este webinar é importante por levantar discussões pertinentes ao BIM, e cada vez mais fazer uma incorporação deste no dia-a-dia das instituições públicas, seja para gerenciar suas obras, e até para avaliação de projetos e seus atendimentos às normas, como por exemplo a NBR 15575.

A metodologia BIM pode ser considerada como a grande responsável pela transformação que vem ocorrendo nos processos produtivos da indústria da construção civil, sendo definida como um conjunto inter-relacionado de políticas, processos e tecnologias que gerenciam a essência do projeto da edificação e seus dados associados em um modelo digital, durante todo o ciclo de vida da edificação (SUCCAR, 2009).

O cenário atual da indústria da construção no Brasil ainda prioriza a metodologia tradicional caracterizada pelo uso de ferramentas não colaborativas de concepção de projetos. Há um esforço por parte dos órgãos públicos de cada vez mais introduzir o BIM no dia-a-dia da construção. O decreto nº 10.306 de 2 de abril de 2020 vem neste viés e “Estabelece a utilização do *Building Information Modelling*

na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do BIM” o que torna uma tendência para que os órgão privados implementem também cada vez mais o BIM no cotidiano. Dessa forma, existe uma grande predisposição à incorporação do BIM ao processo projetual e de gestão vinculados, levando os profissionais da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) à necessidade de capacitação nessa nova tecnologia (ABDI, 2017a).

1.1. Justificativa

A norma de desempenho estabelece os requisitos mínimos que uma edificação residencial deve possuir. Desta forma, torna-se imprescindível que seja conhecida e estudada. Com a atualização recente, alguns critérios foram alterados, dentro disso, foi estabelecido maior enfoque na eficiência energética da edificação. Com base nisso, neste trabalho, optou-se por uma análise mais aprofundada dentro do critério número 11 da NBR 15575 parte 4 - Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas que estabelece as diretrizes para análise do desempenho térmico da edificação.

A recente mudança no tópico de desempenho térmico da NBR 15575 (ABNT, 2021), e a proposta da Prefeitura de Florianópolis de avaliar as edificações residenciais no que tange aos requisitos de desempenho térmico, remetendo a uma futura obrigatoriedade no atendimento da norma supracitada, deixa evidente a crescente preocupação dos órgãos municipais e federal com relação aos aspectos de atendimento mínimo de conforto aos ocupantes, e com a menor necessidade de gasto energético nas edificações.

Com isso, para evitar retrabalhos é necessário que o projeto arquitetônico, antes mesmo da avaliação do projeto nos órgãos municipais, possuam informações que garantam o atendimento dos aspectos mínimos de eficiência quanto a avaliação de desempenho térmico.

É de senso comum que a qualidade na informação garante uma boa gestão. Sendo assim, a metodologia BIM busca, por meio de normativas e expertises no desenvolvimento de projetos, formas de criar, compartilhar ou gerir informações para que o empreendimento possa atender aos objetivos de todos os atores envolvidos (ABNT, 2018b). Ao mesmo tempo, a extração destas informações diretamente de um projeto desenvolvido com metodologia BIM pode ser um facilitador, se estas informações estiverem corretamente apresentadas em um arquivo IFC.

Para facilitar a avaliação do modelo, foi utilizado o Solibri Model Checker (SMC) como software de verificação automática de regras, um software normalmente utilizado na coordenação de projetos. A utilização do software se justifica por duas razões: A primeira refere-se ao nível de utilização. A plataforma é considerada uma das mais utilizadas mundialmente para a realização de verificações automáticas de modelos BIM. O segundo motivo se deve a possibilidade de acesso ao software, com licença oferecida pela empresa Otus Engenharia. O Solibri busca verificar a integridade dos modelos, qualidade, aderência às várias regras do projeto e consistência da informação “dados”. A grande vantagem do software é que mesmo por meio de cliques é capaz de extrair uma análise do projeto em poucos segundos.

1.2. Definição do Problema

Uma ferramenta de fácil avaliação do desempenho térmico pelo método simplificado da NBR 15.575-4(ABNT, 2021), pode servir tanto para projetistas aferirem o projeto antes mesmo de enviar o projeto para aprovação nos órgãos municipais, assim como seria útil para as prefeituras avaliarem os projetos encaminhados para aprovação de forma mais rápida. Para que todo esse processo seja automatizado em projetos BIM, faz-se necessário o uso de Níveis de Informação no projeto ou Requisitos de Informação dos Elementos (RIE), de forma a deixar claro tanto para projetistas quanto para o analista de que forma os dados

devem ser apresentados para que as informações de análise sejam extraídas da forma mais automatizada possível.

Um modelo desenvolvido em BIM pode agilizar o levantamento de informações que possibilitem a adequação ao atendimento da NBR 15.575-4 (ABNT, 2021). Desta forma, deve-se estabelecer os requisitos através de um checklist de informações que podem estar contidas no projeto, assim como seguir um fluxo de análise para que todos os dados relevantes sejam inseridos na fase de concepção de projeto, evitando retrabalhos futuros. Posteriormente, com o uso de softwares de verificação de projeto (como o Solibri) os dados de concordância ou discordância com a norma são facilmente vistos. O BIM auxilia no processo iterativo de teste de possibilidades. Quanto mais complexa a edificação, mais difícil é variar parâmetros de desempenho manualmente. O modelo BIM é capaz de dar agilidade no processo e favorecer a análise de diferentes soluções de projeto e materiais.

Este trabalho tem algumas delimitações: refere-se somente ao clima da cidade de Florianópolis; avalia somente os critérios de desempenho térmico das vedações verticais externas; utiliza o método simplificado da NBR 15.575-4.

1.3. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma estratégia de auxílio na avaliação de desempenho térmico com ênfase na análise automatizada de aberturas de ventilação e área de elementos transparentes, através da utilização do software Solibri Model Checker (SMC) para uso em modelos BIM, através de uma estratégia de avaliação de desempenho térmico pelo método simplificado de projetos arquitetônicos residenciais na cidade de Florianópolis, segundo critérios da NBR 15575-4 (ABNT, 2021), e indicar atribuições paramétricas para que um projeto BIM possibilite, de forma ágil, as informações para a aferição do desempenho térmico.

1.4. Objetivos Específicos

A fim de alcançar o objetivo geral exposto acima, elaboraram-se os seguintes objetivos específicos:

a) Desenvolver, especificamente para o clima da cidade de Florianópolis, uma ferramenta visual (fluxograma do passo-a-passo) que possibilite compreender e aplicar o método simplificado da nova versão de avaliação de desempenho térmico da NBR 15.575-4 (ABNT, 2021);

b) Elaborar uma ferramenta (checklist) prática de aferição dos critérios para a avaliação, e do atendimento ao desempenho térmico pelo método simplificado da NBR 15.575-4 (ABNT, 2021) de projetos a serem implantados na cidade de Florianópolis;

c) Listar parâmetros e informações necessários em projetos BIM, para que possam ser extraídos dados de forma facilitada para avaliação do desempenho térmico pelo método simplificado da NBR 15.575-4;

d) Parametrizar um conjunto de regras do Solibri Model Checker para uso em modelos de construção virtual BIM, com o intuito de atender às exigências de projeto da parte térmica da NBR 15.575-4;

e) Avaliar formas de traduzir as diretrizes normativas de desempenho térmico para a linguagem do Solibri Model Checker;

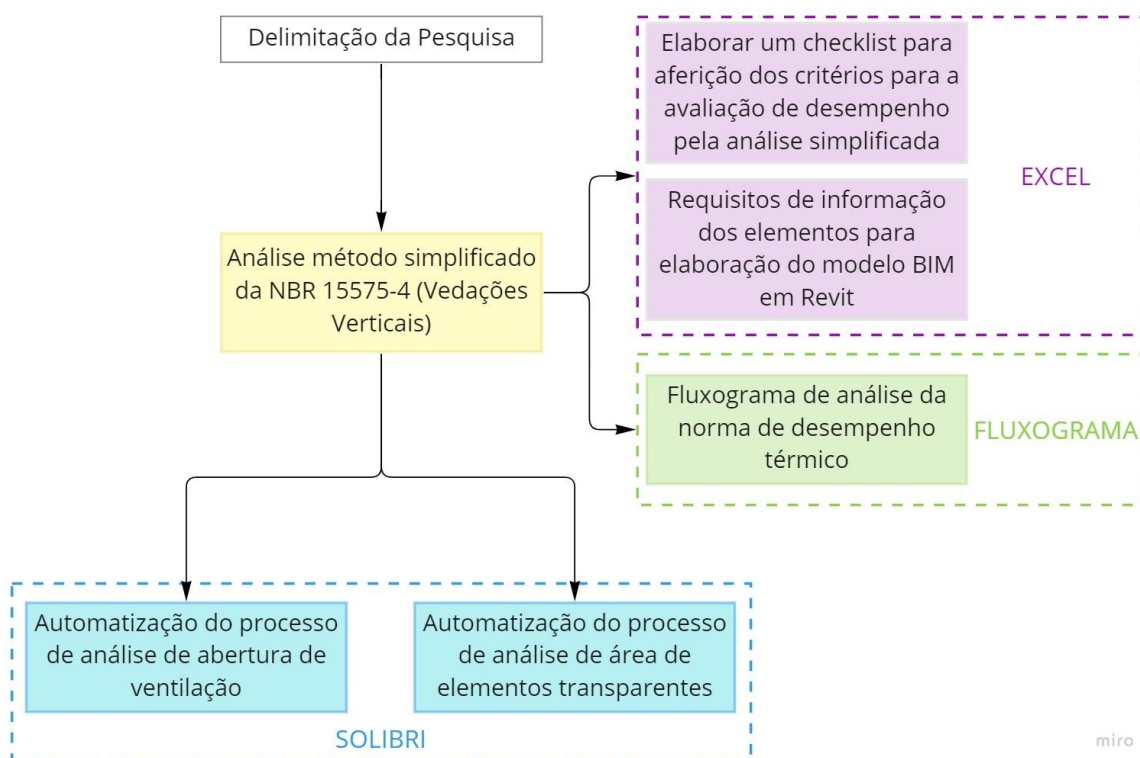
f) Descrever o passo a passo através de um modelo teste para que o processo de automatização no Solibri possa ser replicável por projetistas e analistas;

g) Testar e avaliar a parametrização proposta em um empreendimento modelado através do software Revit.

1.5. Estrutura do Trabalho

A Figura 01 apresenta de forma sintetizada a proposta deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

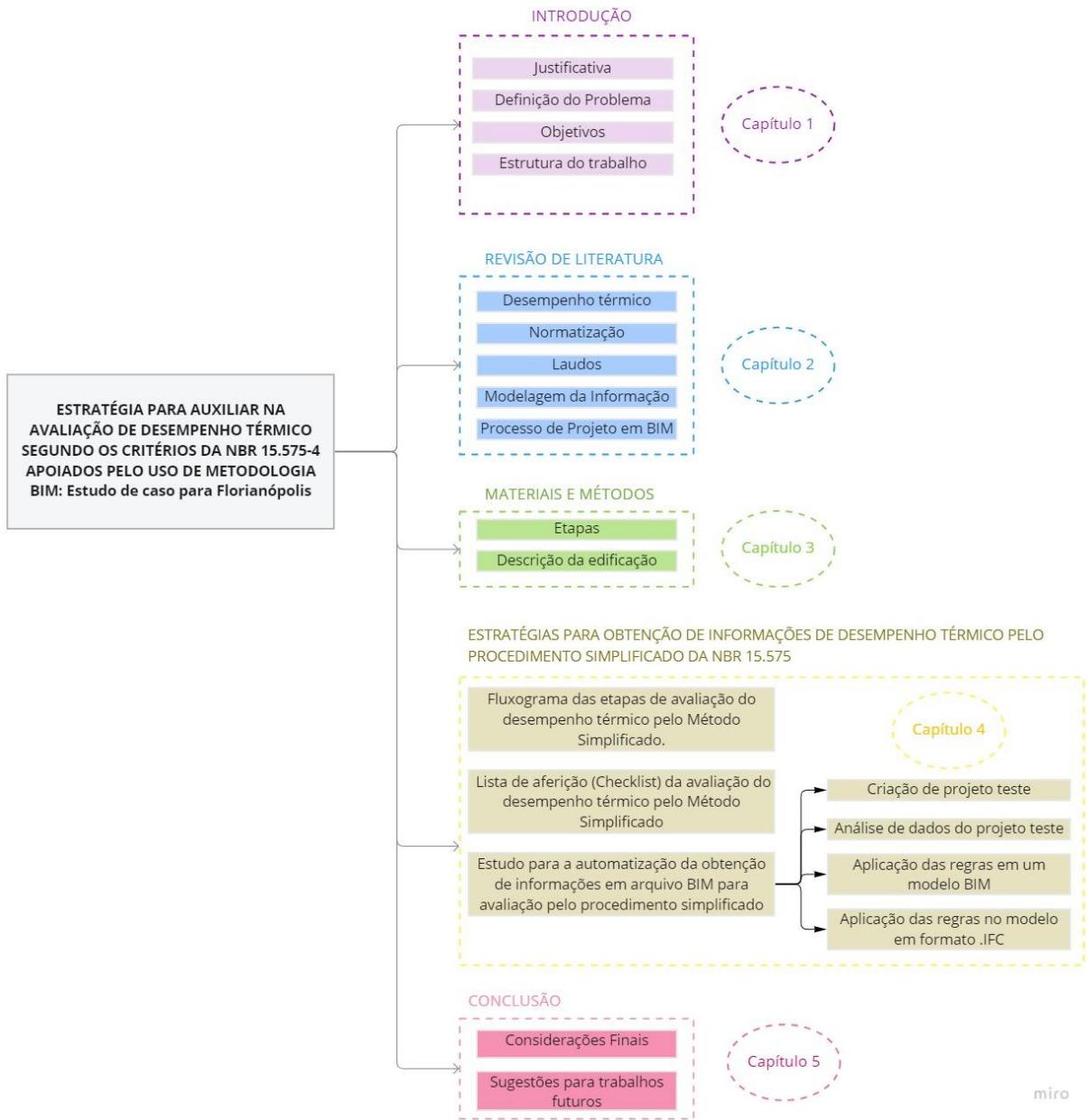
Figura 01 - Fluxograma síntese do TCC.



Fonte: Autoras

Para atendimento ao que se propõe, este trabalho está estruturado em 05 capítulos. Conforme exemplificado na figura 02, o primeiro capítulo apresenta a introdução, onde aborda a justificativa, a definição do problema, os objetivos, a delimitação da pesquisa e a estrutura do trabalho. O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica com relação ao desempenho das edificações habitacionais, com foco na norma NBR 15.575-4 - método simplificado de desempenho térmico, e avaliação de desempenho térmico de vedações verticais com o uso de ferramentas BIM. No terceiro capítulo são apresentados os métodos para que sejam alcançados os objetivos deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) além de uma descrição do objeto de estudo em questão. No quarto capítulo são apresentados os resultados, sendo eles um Fluxograma para avaliação do desempenho térmico através do método simplificado, um Checklist com informações relevantes para o desenvolvimento do projeto, estratégias para a automatização da extração de informações em arquivos BIM, análise de dados de projeto e aplicação das regras em modelos. No quinto e último capítulo, são apresentadas as conclusões obtidas com o presente trabalho, além de sugestões para trabalhos futuros. Por fim, são apresentadas as referências usadas neste trabalho, assim como um apêndice com o fluxograma e checklist criados.

Figura 02 - Organização esquemática do texto do TCC.



Fonte: Autoras

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será apresentado um panorama dos temas relacionados com presente proposta de TCC, iniciando com o desempenho das edificações habitacionais, com foco na norma NBR 15.575-4, na parte de análise simplificada de desempenho térmico, finalizando com conceitos relacionados a modelagem da informação da construção utilizando metodologia BIM (Building Information Modeling).

2.1.Desempenho Térmico

Segundo Borges (2008), o edifício é um produto que deve apresentar determinadas características que o capacitem a cumprir objetivos e funções para os quais foi projetado, quando submetido a determinadas condições de exposição e uso. Assim, ele é considerado “bem comportado” quando atende aos requisitos para o qual foi projetado.

O Desempenho térmico leva em consideração o bem-estar do usuário para com o ambiente térmico, no caso da NBR 15.575, a sua moradia. A não satisfação pode ser causada pelo desconforto climático quando no ambiente não há balanço térmico estável, já que os materiais construtivos têm uma resposta térmica de comportamento em função de suas propriedades (LAMBERTS, 2016).

O conforto térmico é de fundamental importância para a satisfação do usuário, e quando um edifício não o proporciona em seu interior influencia diretamente no consumo energético, pois seus ocupantes tendem a tomar medidas para torná-lo confortável, por exemplo, o uso de ar condicionado (ROAF, CRICHTON e NICOL, 2009). Nesse mesmo viés, Cândido (2010) aponta que o estudo do desempenho térmico para edifícios com ventilação natural adequada apresenta grande potencial em relação ao uso racional de energia, desejável no setor da construção civil, e por estes proporcionarem ambientes internos com percentagens elevadas de satisfação dos ocupantes.

Toda forma de calor existente no ambiente é chamada de carga térmica. Alguns dos fatores que influenciam esse calor são a temperatura externa, radiação solar, pessoas, equipamentos e iluminação. (OMORI, 2018). A radiação solar transmitida para o interior do ambiente é a principal fonte de ganho térmico de edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Os ganhos térmicos podem ser desejados ou não, a depender do uso da edificação, e do local onde será construída.

A transferência de calor numa edificação, ocorre devido a diferença de temperatura entre o exterior e o interior (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). O fluxo de calor que atravessa a superfície depende da transmitância térmica “U” do material e ou sistema construtivo, da diferença de temperatura entre os meios interno e externo e a densidade de fluxo de calor (LAMBERTS et al., 2016). Sendo que a transmitância térmica “U” [W/m²K] é o principal parâmetro térmico que é utilizado para avaliar o sistema construtivo na NBR 15.575. Um outro aspecto relacionado com a transmitância térmica de superfícies opacas, é a cor da superfície. Já a capacidade térmica indica o potencial de um sistema construtivo em reter o calor, e está diretamente relacionada com a densidade e espessura dos materiais do sistema construtivo. A capacidade térmica está diretamente relacionada ao atraso térmico de um sistema construtivo. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

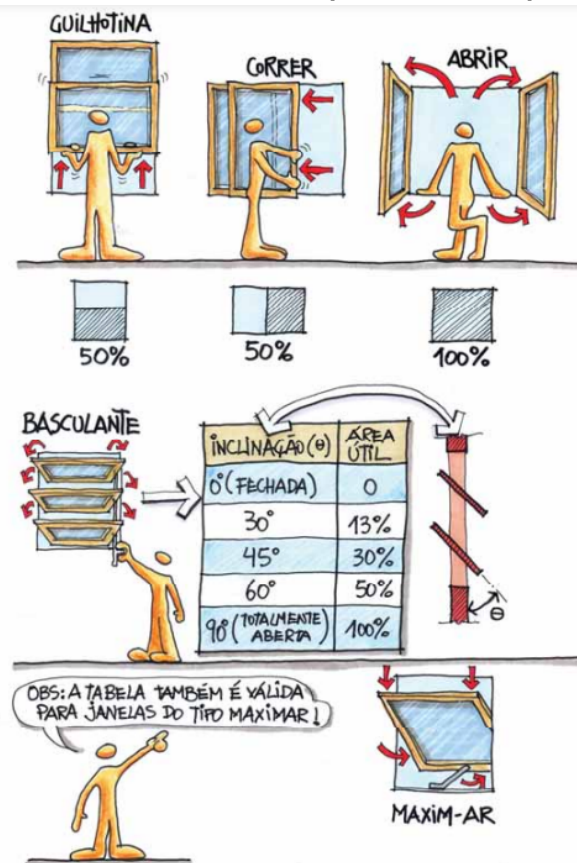
As fachadas das edificações atuam como filtro para a transferência de calor entre o ambiente externo e interno, devendo deixar o meio interno mais confortável consumindo o mínimo possível de recursos energéticos (CHIVELET; SOLLA, 2010).

No projeto arquitetônico as principais variáveis que podem alterar o aporte de calor pela abertura são: orientação e tamanho da abertura, tipo de vidro e uso de proteção solar internas e externas. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Um conceito que serve para avaliar o tipo de vidro ou um tipo de sistema de abertura, é o Fator Solar. O Fator solar é a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa uma janela, dividido pela radiação solar total que nela incide. O Fator Solar de um vidro simples de 3mm, é por volta de 0,87, ou seja 87% da radiação

solar incidente em uma janela com vidro simples, é transmitida para dentro do ambiente (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Uma variável que também deve ser considerada é a área útil de ventilação, que representa a área efetiva de ventilação quando a janela está totalmente aberta. Essa área é diferente para cada tipo de abertura. Uma janela do tipo guilhotina tem 50% de área útil de ventilação, pois quando está totalmente aberta, somente metade de sua área é livre para ventilar o ambiente. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014) A figura 03 exemplifica os valores de área útil de ventilação para diversos tipos de abertura.

Figura 03 - Área útil de ventilação para diversos tipos de janela



Fonte: Luciano Dutra ®

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), no Brasil a preocupação com o desempenho mínimo das edificações ganhou espaço em anos recentes e foi expressa de forma documental na publicação da norma NBR 15575.

Um dos tópicos que gerou grande expectativa e interesse na norma brasileira foi o quesito desempenho térmico. Isso se justifica porque, nos anos recentes, a busca por soluções arquitetônicas energeticamente eficientes e climaticamente adequadas é um tema proeminente no Brasil e no mundo (HENSEN; LAMBERTS, 2011).

2.2. Normatização visando desempenho térmico

Atualmente, existem no Brasil duas normas em vigor que definem níveis de desempenho térmico mínimos para edificações habitacionais: a NBR 15.220 (ABNT, 2005a, 2005b, 2005c) e a NBR 15.575 (ABNT, 2021; ALVIM, 2015).

A NBR 15.220 (ABNT, 2005a, 2005b, 2005c) verifica o desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, sendo composta por 5 partes. A primeira parte estabelece as definições, símbolos e unidades relacionados com as partes seguintes. A segunda parte descreve os métodos de cálculo da transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar de elementos e componentes de edificações. A quarta e a quinta parte explicam o procedimento para determinação da resistência e da condutividade térmica de materiais através de dois métodos distintos. A terceira parte da norma estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro. Esse zoneamento consiste na divisão do território brasileiro em 8 zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. Para cada uma das zonas são apresentadas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo. Essas recomendações têm como objetivo otimizar o desempenho térmico das edificações, a partir de uma melhor adequação climática (ABNT, 2005c).

Sancionada a primeira vez em 2008, mas só entrou em vigor em 2013, a NBR 15575, estabelece requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, determinando as condições de habitabilidade por meio de requisitos dos usuários expressos por diversos fatores, dentre os quais o desempenho térmico dos ambientes. (SANTO; ALVAREZ; NICO-RODRIGUES, 2020). As normativas

brasileiras apresentam para a análise do desempenho da edificação um método simplificado – que descreve os critérios para a avaliação do desempenho térmico, e outro que utiliza a simulação computacional, sendo tais alternativas propostas pela NBR 15575-1. Destaca-se que o foco desta norma está nos requisitos do usuário para o edifício habitacional voltado para seu comportamento em uso, não sendo direcionado para a prescrição de como os sistemas devem ser construídos, caracterizando-se, assim, como uma norma complementar às prescritivas sem, no entanto, substituí-las (ABNT, 2021a). Ao contrário das normas tradicionais, que prescrevem características dos produtos com base na consagração do uso, normas de desempenho definem as propriedades necessárias dos diferentes elementos da construção, independentemente do material que o constitui. (CBIC, 2013)

A palavra desempenho, que em última instância significa comportamento em utilização, foi escolhida para caracterizar o fato de que um produto deve apresentar certas propriedades que o capacitem para cumprir sua função quando sujeito a certas ações. (SOUZA, 2015). O desempenho térmico de habitações depende de seus componentes (paredes e coberturas), das áreas envidraçadas e de ventilação, das cargas térmicas internas (pessoas, iluminação e equipamentos), da maneira como se operam as aberturas e do clima da cidade (ABNT, 2021a).

Na NBR 15.575 o desempenho térmico das unidades habitacionais (UH) é caracterizado por meio da delimitação de três níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). É de caráter obrigatório o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para o nível de desempenho mínimo (ABNT, 2021a).

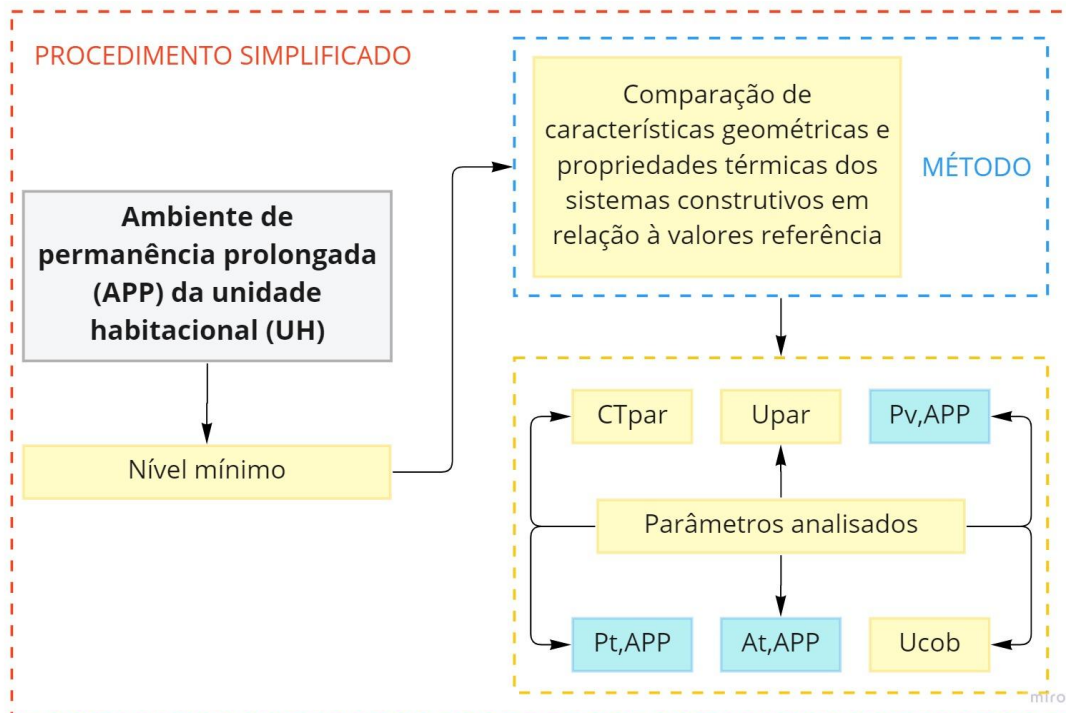
O procedimento de avaliação abordado no presente trabalho é o procedimento simplificado. A NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) descreve a função do procedimento simplificado como sendo a

“avaliação do desempenho térmico da UH por meio da comparação de características geométricas dos APP e de propriedades térmicas dos sistemas construtivos em relação aos valores de referência destes parâmetros. [...] O procedimento simplificado permite a análise do desempenho térmico para a obtenção do nível mínimo, de caráter obrigatório. O atendimento aos níveis intermediário e superior deve ser

analisado por meio de procedimento de análise computacional” (ABNT, 2021a)

Conforme exemplificado na figura 04, o procedimento simplificado avalia o desempenho térmico da unidade habitacional por meio da comparação de características geométricas dos Ambientes de Permanência Prolongada (APP) e das propriedades térmicas dos sistemas construtivos em relação aos valores de referência destes parâmetros. Este procedimento estabelece o atendimento aos requisitos e critérios para sistema de vedações verticais (SVVE) e de coberturas (Figura 04). Vale salientar, que o procedimento simplificado permite a análise do desempenho térmico para obtenção do nível mínimo, e é de caráter obrigatório. (ABNT,2021). O presente TCC irá avaliar o potencial de automatização dos parâmetros de sistemas de vedações verticais (SVVE), desconsiderando a cobertura.

Figura 04 - Diagrama de procedimento simplificado de avaliação do desempenho térmico



Fonte: Adaptado ABNT NBR 15575-1:2021

Conforme a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) a Zona Bioclimática tem como intuito determinar as melhores estratégias que um projeto de arquitetura para edificação deve seguir para obter conforto térmico aos seus habitantes. Cada uma dessas zonas tem recomendações técnico-construtivas que aperfeiçoam o desempenho térmico das edificações através de sua melhor adequação climática e são indicadas diretrizes construtivas que tratam de estratégias de projeto; orientações sobre as aberturas em relação ao seu tamanho e sombreamento necessário; as vedações externas; entre outros aspectos (BORGES; SARMENTO; CARVALHO, 2018).

2.2.1. Área de Ventilação

De acordo com a NBR 15.575-4 os APP devem possuir aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação específica da cidade na qual a Unidade Habitacional (UH) está localizada, incluindo código de obras, códigos sanitários, entre outros. Quando não houver exigências de ordem legal para o local de implantação da UH, que é atualmente o caso de Florianópolis, os APP devem possuir percentual de abertura para ventilação ($P_{v,APP}$) maior ou igual ao valor de referência da norma. Para Florianópolis, que encontra-se na zona bioclimática 3, o percentual de abertura de referência para ventilação deve ser igual ou superior a 7% da área do piso.

Dessa maneira, o método de cálculo do percentual de abertura para ventilação pode ser calculado de acordo com a equação 01:

$$P_{v,APP} = 100 \frac{(A_{v,APP})}{(A_{p,APP})}$$

(01)

Onde,

$P_{v,APP}$ é o percentual de abertura para ventilação do APP, expresso em porcentagem (%);

$A_{v,APP}$ é a área efetiva de abertura para ventilação do APP, expressa em metros quadrados (m^2);

$A_{p,APP}$ é a área de piso do APP, expressa em metros quadrados (m^2).

Sendo que a área de piso do APP ($A_{p,APP}$) deve considerar todo o ambiente delimitado por este APP. Em espaços internos integrados, sem a presença de divisões por paredes ou portas, deve-se considerar a soma das áreas de piso desses espaços, resultando na área de piso do ambiente. Podem ser considerados espaços integrados: salas e cozinhas conjugadas, salas com corredor ou hall de entrada, ou condições similares, desde que compreendidas por um único ambiente (ABNT NBR 15575-4, 2021).

Para o cálculo da área efetiva de abertura para ventilação do APP, devem ser consideradas as aberturas que permitam a livre circulação do ar, devendo ser descontadas as áreas de perfis, de vidros e de qualquer outro obstáculo.

Já no cálculo da área efetiva de abertura para ventilação dos APP não podem ser consideradas as áreas de portas internas. Quando o APP possuir portas balcão ou semelhantes, com elementos transparentes e fixadas na parede externa, toda a área de abertura resultante do deslocamento da folha móvel da porta deve ser considerada (ABNT NBR 15575-4, 2021).

2.2.2. Área de Elementos Transparentes

De acordo com a NBR 15575-4 as aberturas de cada APP devem atender ao percentual de elementos transparentes conforme a tabela 01 abaixo.

Tabela 01 - Proporção de referência dos elementos transparentes

Percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) %	Área de superfície dos elementos transparentes ($A_{t,APP}$) m^2
$A_{p,APP} \leq 20,0 m^2$	$A_{p,APP} > 20,0 m^2$
$P_{t,APP} \leq 20 \%$	$A_{t,APP} \leq 4,0 m^2$
Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de $P_{t,APP}$ ou $A_{t,APP}$ que ultrapassem os limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, caso não considerem vidros de alto desempenho ou elementos de sombreamento horizontal.	

Fonte: Tabela 16 - NBR 15575-4/2021

Ainda conforme a NBR 15575-4/2021, em locais com latitude inferior a -15° , as aberturas orientadas para o sul podem possuir percentual de elementos transparentes de até 30%, desde que o APP possua apenas esta abertura com elementos transparentes. Devido ao projeto analisado ser localizado na cidade de Florianópolis, deve-se considerar essa diferença em relação à análise de elementos transparentes de fachada sul e demais fachadas.

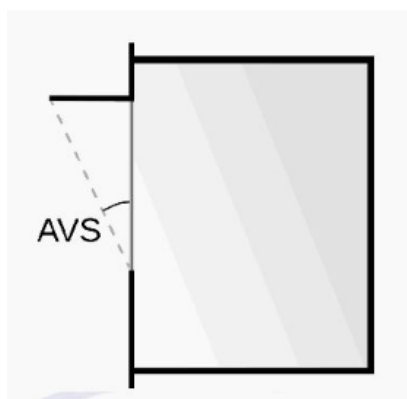
Além disso, caso o APP possua A_p (área de piso) superior a $20,0m^2$, a A_t (área de elementos transparentes) deve ser menor do que $6,0m^2$. Em caso de não atendimento dos critérios estabelecidos na tabela 01, se faz necessário a avaliação pelo método computacional, uso de elementos de sombreamento horizontal ou vidros de alto desempenho.

De acordo com a ABIVidro, Os vidros de controle solar ou alto desempenho são aqueles revestidos com uma superfície metalizada (coating), invisível a olho nu, com partículas do diâmetro em escala nanométrica (milionésimo de milímetro), que permite a filtragem da radiação solar, transmitindo mais luz e menos calor, ou o contrário, dependendo da necessidade do projeto. A metalização, ou coating, pode ser aplicada sobre vidro incolor, cinza, verde ou azul. Além disso, o vidro ainda pode ser laminado com qualquer uma dessas outras opções.

As outras análises relacionadas ao critério de elementos transparentes da norma são em relação à área de sombreamento e fator solar. Quando existente sombreamento horizontal sobre os elementos transparentes, deve-se identificar

(conforme tabela 02) o percentual de elementos transparentes máximo, com base no ângulo vertical de sombreamento (AVS) (ABNT NBR 15575-4, 2021). A delimitação do ângulo vertical de sombreamento estabelecido em norma se dá conforme a figura 05. Além disso, em relação ao fator solar, ainda segundo a NBR 15575-4, o percentual de elementos transparentes pode ser avaliado a partir do fator solar máximo permitido, ou por meio do nível mínimo da etiqueta de desempenho da esquadria, estabelecido pela ABNT NBR 10821. A tabela que diz respeito a essa análise pode ser consultada na página 31 da ABNT NBR 15575-4/2021.

Figura 05- Representação em corte de um ambiente para delimitação do AVS.



Fonte: ANBT NBR 15575-4:2021

Tabela 02 - Percentual de elementos transparentes em função do ângulo vertical de sombreamentos para UH localizadas nas zonas bioclimáticas 3 a 8

Percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) %			
Ângulo vertical de sombreamento (AVS) °	Fachadas Leste e Oeste	Latitudes < -15°	Latitudes ≥ -15
		Fachada Norte	Fachadas Norte e Sul
30	22	24	23
35	23	27	23
40	25	29	24
45	27	33	25

Nos APP com mais de um elemento transparente protegido por sombreamento horizontal, com valores distintos de AVS ou localizados em fachadas diferentes, deve-se considerar o percentual de elementos transparentes de menor valor.

Para $A_{p,APP}$ maior que 20,0 m², deve-se respeitar o limite de $A_{t,APP}$, obtido pela multiplicação do $P_{t,APP}$ pela área de 20,0 m².

Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de percentual de elementos transparentes que ultrapassem os limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4.

Fonte: Tabela 18 - NBR 15575-4/2021

Dessa maneira, o método de cálculo do percentual de elementos transparentes pode ser calculado de acordo com a equação 02:

$$P_{t,APP} = 100 \frac{(A_{t,APP})}{(A_{p,APP})}$$

(02)

Onde,

$P_{t,APP}$ é o percentual de elementos transparentes do APP, expresso em porcentagem (%);

$A_{t,APP}$ é de superfície dos elementos transparentes do APP, expressa em metros quadrados (m²);

$A_{p,APP}$ é a área de piso do APP, expressa em metros quadrados (m²).

Para os APP com duas ou mais aberturas com elementos transparentes, o valor de $A_{t,APP}$ é o resultado do somatório das áreas de superfície dos elementos transparentes de todas as aberturas.

2.3. Modelagem da informação na Construção

A busca por soluções em modelagem digital do produto ganhou força no final da década de 70, com a globalização dos mercados e aumento da dinâmica das empresas. Fomentou-se a melhoria dos processos através de uma abordagem integrada dos diferentes aspectos relacionados ao produto, a fim de atingir um mercado cada vez mais exigente quanto a prazos, qualidade e custos (NOBREGA JUNIOR; MELHADO, 2013).

A Modelagem da Informação da Construção, ou em inglês *Building Information Models* ou *Building Information Modeling* (BIM), não é considerado um software e sim uma tecnologia de modelagem, que pode ser descrita como um conjunto de processos para produzir, armazenar, comunicar e analisar modelos de construção (EASTMAN et al., 2014).

Segundo a Autodesk (2020), BIM é uma tecnologia que permite a criação de um modelo 3D que possibilita o gerenciamento, coordenação e simulações durante todo o ciclo de vida de um projeto (planejamento, documentação de projetos, construção, operação e manutenção).

Segundo Almeida (2019), a metodologia BIM permite um processo interativo de construção digital, promovendo o envolvimento das diversas disciplinas da construção civil, através da criação de um modelo digital abastecido com todas as informações necessárias às diversas especialidades da construção para subsidiar as etapas de planejamento, execução e manutenção da obra. Através deste método, estas etapas ocorrem de forma mais integrada, pois informações de normas técnicas, projetos complementares, cronogramas, orçamentos, podem ser atribuídos ao modelo digital. Estes aspectos facilitam a visualização do que será executado, além de permitir simulações de desempenho, que concedem uma análise preliminar

do comportamento em uso da edificação, criando a possibilidade de avaliar os sistemas construtivos, minimizando erros de projeto e custos.

Ao desenvolver um edifício em 3D com um programa que utiliza a tecnologia BIM, são utilizados elementos construtivos como paredes, lajes, vigas, esquadrias, forros, escadas, telhados, têm todas as características definidas em suas propriedades, desde as informações geométricas, referências normativas, comportamento com relação a outros elementos construtivos, características do material a ser utilizado para construção e material usado para a representação do modelo digital (LIMA, 2012).

A implementação do BIM faz com que profissionais passem a compreender novas possibilidades em seus processos de projeto, deixando de utilizar ferramentas computacionais de desenho 2D apenas para gerar documentos, mas sim para realizar análises e simulações em ambientes 3D, explorando múltiplas alternativas de projeto antes de tomar suas decisões (KEUOUGH; HAUCK, 2017).

Um modelo BIM vai muito mais além da designada 3ª dimensão (3D). Este não tem apenas a capacidade da definição da geometria e dos materiais, mas consolida também a aptidão para atingir dimensões mais elevadas (MARTINS, 2018). As dimensões de BIM requeridas no projeto dependem dos objetivos da construtora. Segundo Martins (2018) as dimensões do BIM (Figura 06) podem ser diferenciadas da seguinte forma: análise de planejamento (4D), análise de custos (5D), análise de sustentabilidade e ciclo de vida (6D) ou apoio na manutenção e operação do edifício (7D). Dentre as diversas “dimensões” BIM, é na dimensão 6D que se introduz os aspectos referente às instalações e gerenciamento de energia (KENSEK, 2018).

Figura 06 - Dimensões do BIM.



Fonte: Bomfim, 2016

De acordo com Caetano (2021), o LOD (Level of Development) ou Nível de desenvolvimento do modelo é uma referência proposta pelo American Institute of Architects (AIA) e consiste no grau de informações e maturidade de um modelo BIM, tendo classificação do 100 ao 500, do menos para mais desenvolvido:

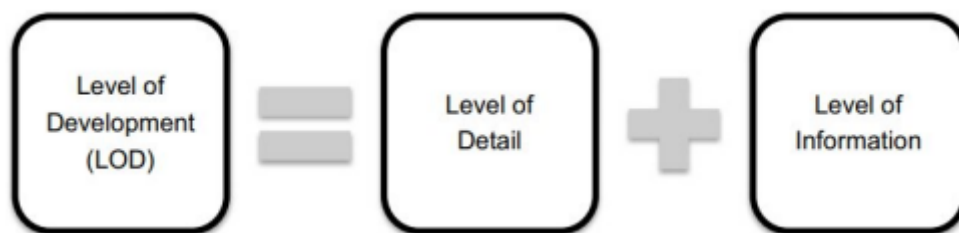
- LOD 100 – Fase de concepção do projeto, na qual o modelo permite visualizar a volumetria, orientação do edificado e estimativas de custos iniciais;
- LOD 200 – Fase esquemática de projeto, onde já é possível analisar critérios generalizados de desempenho;
- LOD 300 – Possibilidade de realizar simulações detalhadas de elementos e de sistemas. O detalhe dos modelos já inclui quantidade, tamanho, forma, localização e orientação de objetos, estando adequado a desenhos de construção;
- LOD 400 – Modelo desenvolvido para fabricação e montagem, adequado a fabricantes, contendo informação precisa sobre formas e dimensões;
- LOD 500 – Modelo que representa como foi executado o projeto, sendo utilizado para futura manutenção e gestão.

O LOD pode ser utilizado como critério de contratação – no caso de um

serviço terceirizado, para definir o objetivo que o modelo oferecerá e também para entregas em ciclos de projeto de acordo com as informações da construção em determinado momento, podendo ser utilizado para estimativa de custos, por exemplo. (CAETANO, 2021)

A figura 07 sintetiza o conceito do LOD, que de acordo com Oliveira (2016) consiste na soma do nível de detalhe (Level of Detail) com o nível de informação (Level of Information).

Figura 07: Relação entre Níveis de desenvolvimento, Detalhe e Informação



Fonte: Oliveira, 2016

Entretanto, o conceito de LOD está dando lugar ao conceito de Nível Necessário de informação ou Requisitos de Informação do Elemento (RIE). Segundo a ISO 19650-1, é recomendado que o nível de informação necessária para cada entregável seja determinado de acordo com o seu propósito de uso. Nesse sentido, a NBR ISO 19650-1 trata da organização da informação acerca de trabalhos na construção, estabelecendo os novos padrões internacionais para a aplicação e implementação do BIM e tem como objetivo disseminar o uso da tecnologia e promover o crescimento do setor da Construção Civil.

De acordo com Couto (2020), a gestão da informação é distinta da respectiva produção e entrega, mas estão intimamente ligadas. A gestão de informação deve ser efetuada durante todo o ciclo de vida do ativo. As funções de gestão de informação deverão ser atribuídas às entidades adequadas (entidade requerente, entidade fornecedora e entidades fornecedoras líder) e não deverão necessariamente conduzir ao envolvimento de novas entidades. A quantidade de informação a gerir aumenta progressivamente, quer durante a fase de

desenvolvimento, quer durante a fase operacional. No entanto, apenas a informação relevante deverá ser tornada disponível ou transferida entre as atividades da fase operacional e da fase de desenvolvimento e vice-versa.

A NBR ISO 19650-1 também enfatiza o nível necessário de informação e um dos propósitos é prevenir a entrega de informações excessivas e desnecessárias.

Ainda segundo Couto (2020), o EIR (Requisitos de Troca de Informação) estabelece aspetos de gestão, comerciais e técnicos da produção de informação do projeto. Os aspetos de gestão e comerciais devem incluir o padrão de informação e os métodos e procedimentos de produção a serem implementados pela equipa de desenvolvimento. Os aspetos técnicos do EIR devem especificar a informação detalhada necessária para responder ao PIR (Requisitos de Informação do Projeto). Estes requisitos devem ser expressos de forma a que possam ser incorporados nos compromissos relacionados com o projeto. O EIR normalmente deve estar alinhado com os eventos despoletadores que representam a conclusão de algumas ou de todas as fases do projeto. O EIR deve ser identificado sempre que os compromissos estiverem a ser estabelecidos. Em particular, o EIR recebido pela entidade fornecedora líder pode ser subdividido e passado para qualquer uma das suas entidades fornecedoras, e assim por diante ao longo da cadeia de fornecimentos. O EIR recebido pelas entidades fornecedoras, incluindo as entidades fornecedoras líderes, pode ser aumentado com o seu próprio EIR. Alguns EIR podem ser passados para as próprias entidades fornecedoras, principalmente quando a troca de informação dentro de uma equipa de desenvolvimento é necessária e essa informação não deve ser trocada com a entidade requerente. Num projeto, podem existir vários compromissos diferentes. O EIR de todos esses compromissos deve formar um único conjunto coerente e coordenado de requisitos de informação, suficiente para atender a todos os PIR.

É recomendado que o nível de informação necessária para cada entregável seja determinado de acordo com seu propósito de uso. Convém que isto inclua uma definição adequada de qualidade, quantidade e granularidade de informação. Este

conceito é referido como nível de informação necessário e pode variar de entregável para entregável (ABNT NBR ISO 19650-1: 2022).

Neste mesmo sentido, a mesma NBR recomenda que a informação gerenciada pelo ambiente comum de dados (CDE) seja entendida por todos os grupos envolvidos no empreendimento ou gestão do ativo. Convém que as seguintes definições sejam acordadas para dar suporte a isso:

- formatos de produção da informação;
- formatos de entrega da informação;
- estrutura dos modelos de informação;
- formas de estruturação e classificação da informação;
- nomes de atributos de metadados, por exemplo, a propriedades de elementos construtivos e informações necessárias.

2.3.1. Verificação automática de regras de projeto

Catelani e Santos (2018) apontam a padronização das informações utilizadas como uma ferramenta importante na construção civil, pois contribui para a viabilização de um trabalho colaborativo através do aproveitamento dos trabalhos feitos anteriormente. Sem ela, os autores ressaltam que mesmo tarefas simples como nomenclaturas de componentes podem gerar mal entendidos e retrabalhos.

Nesse viés, Rodrigues (2015) relata sobre os impactos negativos na verificação automática de regras oriundas da falta de padronização no processo de parametrização dos objetos. Nesse estudo, foi observado que cada disciplina adotou um diferente padrão de nomenclatura. Ao centralizá-los na plataforma de verificação de regras por meio do IFC, foi necessário adaptar as regras de verificação, demandando uma intervenção manual que prejudicou o andamento do processo automatizado, bem como na assertividade dos resultados gerados.

Para Andrade e Silva (2017), uma das aplicações possibilitadas pela metodologia BIM é a verificação de regras, normas e códigos de construção aplicadas aos projetos de maneira automatizada. São muitos os agentes que

demandam documentação relacionada aos projetos de construção. Entre eles estão os projetistas, os contratantes públicos e privados, tais como as entidades governamentais, como prefeituras e governo Estadual, além de concessionárias de serviços básicos de água, esgoto e energia, e ainda os bancos financiadores da construção, as agências reguladoras, entre outros. Os projetos ainda devem estar de acordo com uma ampla gama de normas, regulamentos e leis, e necessitam passar pela conferência dos agentes envolvidos no processo. Portanto, a proposta de automatização vem como facilitadora e promotora de velocidade destes trabalhos, e no atendimento dos requisitos com ganhos de assertividade.

De acordo com Solihin e Eastman (2015), normas e códigos necessitam de interpretação das regras, exigindo um significativo domínio do assunto. Existem conceitos implícitos e relações com outras normas, e para parametrização de regras, é necessário fazer essa compreensão, para que a máquina faça essa verificação de forma correta.

Vale ressaltar que a etapa de preparação do modelo é fundamental para o sucesso da verificação. A verificação é feita a partir da análise das informações contidas no modelo, e necessitam ser padronizadas de forma a atender os processos a que se destinam. O conteúdo e o modo como o modelo 3D paramétrico é construído tem influência direta na qualidade, complexidade e eficiência do software que fará a verificação automática das regras. O nível de detalhamento também deve ser adequado à parametrização das regras. Portanto, é necessário que, na fase de definição do escopo do projeto, sejam incluídos também requisitos mínimos necessários para o desenvolvimento do modelo em BIM (ANDRADE E SILVA, 2017).

De acordo com o AsBEA (2012), como todas as informações, representações bidimensionais, tabelas e memoriais são extraídos do modelo, a qualidade desse edifício virtual, tanto do ponto de vista construtivo quanto dos dados inseridos, é fundamental. Há uma necessidade permanente de auditoria dessa qualidade. Além disso, em ambiente tão complexo, as construções, inserções e alterações precisam

ser amplamente planejadas desde o início dos trabalhos. Esse tipo de gestão exige novas funções que deverão ser absorvidas pelas equipes de projeto.

A Biblioteca dentro do BIM corresponde a um conjunto de objetos/componentes paramétricos a serem usados na construção do edifício virtual. Essa biblioteca faz parte de um conjunto básico que será aperfeiçoado e ampliado ao longo do tempo e do desenvolvimento de novos projetos em BIM. Esses objetos paramétricos, além da geometria, possuem campos de informação que podem variar de projeto para projeto. Existem projetos que têm necessidades específicas e os objetos utilizados nesses projetos possuirão parâmetros específicos. A definição desses parâmetros deverá ficar a cargo do coordenador geral do modelo, assim como os critérios para sua criação. Isso garantirá a confiabilidade na extração de dados do modelo no futuro. Entretanto, existe um profissional com papel de desenvolvedor de bibliotecas, que irá garantir que todos os novos objetos modelados sigam os critérios definidos pelo coordenador. Dessa forma, além de uma biblioteca em conformidade com os padrões internos do escritório, o desenvolvimento do projeto não é interrompido para a modelagem de um novo componente, pois haverá um responsável para essa função. Nesse caso, é importante que esse profissional tenha conhecimento da ferramenta. (AsBEA, 2012).

O profissional de controle de dados deverá fazer, sistematicamente, através da análise de planilhas do modelo, verificações que vão confirmar se as informações foram inseridas de maneira que possibilitem a extração de quantidades e listas acuradas. A manipulação dessas planilhas é uma atividade simples dentro da ferramenta, exigindo que esse profissional tenha conhecimento da disciplina e conhecimento básico da ferramenta. (AsBEA, 2012).

2.3.2. Vantagens do uso do BIM

Eastman et al. (2020) relaciona diferentes prerrogativas com relação às vantagens do uso do BIM, como:

- a) Benefícios pré-construção para o proprietário:

- Conceito, viabilidade e benefícios no projeto - Antes que os proprietários envolvem um arquiteto, é necessário determinar se uma construção de determinado tamanho, nível de qualidade e programa de necessidades pode ser construída dentro de um dado orçamento e cronograma;

- Aumento da qualidade e do desempenho da construção - Desenvolver um modelo esquemático antes de gerar o modelo detalhado da construção permite uma avaliação mais cuidadosa do esquema proposto para determinar se ele cumpre os requisitos funcionais, de sustentabilidade e outros da construção;

- Melhoria da colaboração com o uso da entrega de projeto integrado - Quando o proprietário usa o Desenvolvimento Integrado de Empreendimentos (IPD) para uma contratação de serviços de projeto e construção, o BIM pode ser utilizado pela equipe de projeto desde o início do trabalho, a fim de melhorar seu entendimento das exigências do projeto e para obter estimativas de custo à medida que o empreendimento é desenvolvido.

b) Benefícios para projetar:

- Visualização antecipada e mais precisa de um projeto - O modelo 3D gerado pelo software BIM é projetado diretamente em vez de ser gerado a partir de múltiplas vistas 2D;

- Correções de baixo nível automáticas quando são feitas alterações no projeto - Se os objetos utilizados no projeto são controlados por regras paramétricas que garantem o alinhamento adequado, então o modelo 3D será isento de erros de geometria, alinhamento e coordenação espacial. Isso reduz a necessidade de o usuário gerenciar as mudanças no projeto.

- Geração de desenhos 2D precisos e consistentes em qualquer etapa do projeto - Desenhos precisos e consistentes podem ser extraídos para qualquer conjunto de objetos ou vistas específicas do empreendimento;

- Colaboração antecipada entre múltiplas disciplinas de projeto - A metodologia BIM facilita o trabalho simultâneo de múltiplas disciplinas de projeto.

- Verificação fácil da consistência da intenção de projeto - O BIM proporciona visualizações 3D antecipadamente e quantifica as áreas dos espaços e outras quantidades de materiais, permitindo estimativas de custos mais cedo e mais precisas;

- Extração de estimativas de custo durante a etapa de projeto - Em qualquer etapa do projeto, a metodologia BIM pode extrair uma lista precisa de quantitativos e de espaços que pode ser utilizada para estimar o custo;

- Incremento da eficiência energética e sustentabilidade - Vincular o modelo da construção a ferramentas de análise energética permite a avaliação do uso de energia durante fases mais preliminares do projeto.

c) Benefícios à construção e à fabricação

- Uso do modelo de projeto como base para componentes fabricados - Se o modelo de projeto é transferido para uma ferramenta BIM de fabricação e detalhado ao nível da fabricação de objetos (modelo detalhado), ele conterá uma representação precisa dos objetos da construção para a fabricação e construção;

- Reação rápida a mudanças no projeto - O impacto de uma mudança sugerida no projeto pode ser introduzido no modelo da construção, e as modificações em outros objetos no projeto serão atualizadas automaticamente;

- Descoberta de erros e omissões no projeto antes da construção - Uma vez que o modelo virtual 3D da construção é a fonte para todos os desenhos 2D e 3D, os erros de projeto causados por desenhos 2D inconsistentes são eliminados;

- Sincronização de projeto e planejamento da construção - O planejamento da construção usando CAD 4D requer uma vinculação do planejamento de construção aos objetos 3D em um projeto e a complementação do modelo com objetos de equipamentos de construção (escoramento, andaimes, guias, etc.), de forma que seja possível simular o processo de construção e mostrar a aparência da construção e do canteiro em qualquer ponto no tempo.

d) Benefícios pós construção

- Melhoria do comissionamento e do processo de entrega das informações sobre a edificação - Durante o processo de construção, o construtor e os empreiteiros coletam informações sobre os materiais instalados e sobre a manutenção dos sistemas do edifício.

2.3.3. Processo de Projeto em BIM

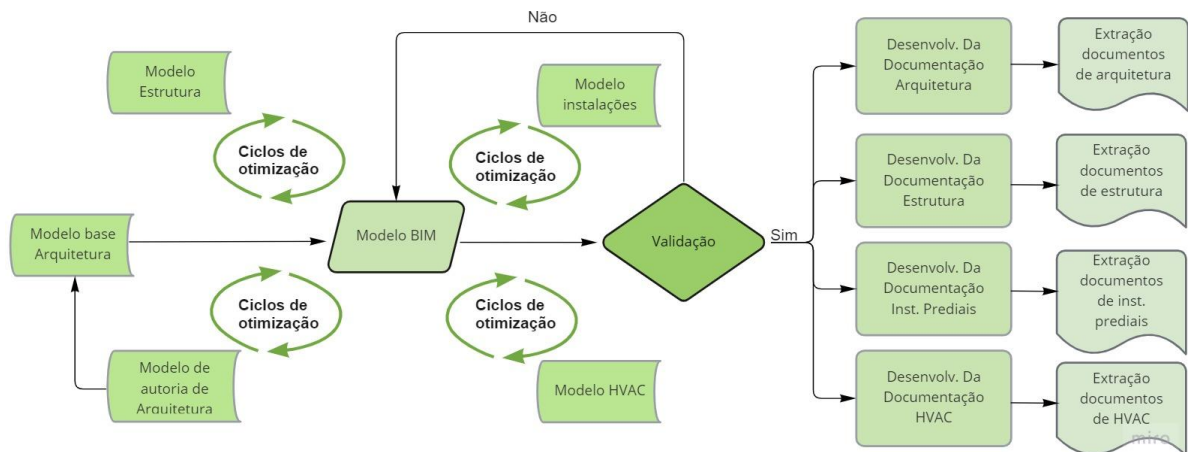
Na construção civil, a etapa projetual pode ser considerada uma das mais importantes, primeiramente por ser a grande responsável, se eficiente, pela definição dos custos de uma obra. Da mesma maneira, é durante o projeto que são estabelecidos os padrões de qualidade de todos os insumos que serão utilizados na edificação e, assim, o potencial desempenho dos empreendimentos (MITIDIERI FILHO, 2007). A forma como o projeto é desenvolvido reflete no desempenho final da edificação, tendo em vista a maior antecipação de questões do comportamento em uso da edificação nas fases preliminares do projeto (ALMEIDA, 2019). Em suma, o projeto é o norteador principal de todo o processo de atendimento aos requisitos das normas. Dessa forma, é importante que os projetistas se dediquem às definições de projeto e especificações detalhadas, resultando em memoriais descritivos mais complexos (SILVA et al., 2014). Esse envolvimento é o grande determinante para que a edificação se adeque às exigências de desempenho estabelecidas (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

O processo de projeto é uma atividade que compreende as fases de: análise dos principais elementos que compõem o problema de projeto; da síntese das ideias e possíveis soluções que atendam aos objetivos e satisfaçam às restrições e oportunidades; da avaliação que consiste em comparar a solução proposta com as metas, restrições e oportunidades que o projeto deve atender; e a representação que consiste no produto oriundo das três primeiras fases (KOWALTOWSKI et al., 2011). Em projetos desenvolvidos em BIM, não só o fluxo de informações pode ser alterado, mas também as interfaces entre os projetistas e o coordenador de projetos.

Em outras palavras, com a metodologia BIM, o projeto deixa de ser um processo linear e paralelo e torna-se integrado. (BURGARDT; KINDLE; REIS, 2011). Tanto que, na NBR 16636-2 (ABNT, 2017), as etapas do processo do projeto arquitetônico, que eram anteriormente citadas na extinta NBR 13532 (levantamento de dados para arquitetura, programa de necessidades, estudo de viabilidade, estudo preliminar, anteprojeto, projeto legal, projeto básico, projeto para execução) (ABNT, 1995), foram divididas em duas fases: de preparação; e de elaboração e desenvolvimento de projetos técnicos. A primeira fase compreende toda a parte de levantamento de informações preliminares do projeto, para abastecer o programa geral de necessidades, para elaboração do estudo de viabilidade do empreendimento. Já a segunda fase consiste basicamente na determinação e representação prévia da configuração arquitetônica da edificação, após compatibilização com demais projetos complementares.

A partir da figura 08, é possível observar um fluxo de trabalho que descreve o processo dos projetos em BIM, desde a elaboração da arquitetura até a entrega do projeto final da edificação com todos os seus sistemas. Entretanto, esse fluxo pode ser ainda mais detalhado em cada escritório.

Figura 08 - Fluxo de projetos em BIM



Fonte: ABDI, 2017 (adaptado)

Segundo Eastman (2020), não há um processo de projeto “padrão” e em vez de tentar descrever construtivamente toda a gama de práticas de projeto, apresenta uma amostragem de subprocessos divergentes que antecipam o paralelismo e a integração, examinando o impacto do BIM no projeto a partir de quatro pontos de vista:

a) O projeto conceitual aborda a organização conceitual e espacial do projeto. Ou seja, o BIM facilita a geração de fachadas de edificações complexas e suporta uma exploração mais profunda do conceito arquitetônico;

b) Integração de serviços de engenharia. O BIM suporta fluxos de trabalho de novas informações e integra-os mais estreitamente com as ferramentas existentes de simulação e análise utilizadas pelos consultores ao longo do ciclo de vida do projeto e da construção. O BIM suporta a integração de consultores na avaliação dos custos e benefícios relativos à sustentabilidade, aos custos do ciclo de vida, à manutenção e aspectos similares, incluindo aqueles utilizados por subempreiteiros. Os subempreiteiros são incentivados a realizar o detalhamento de engenharia utilizando ferramentas BIM por eles escolhidas para detalhamento e fabricação, para suporte de múltiplas funções de detalhamento, fabricação, entrega e montagem, de modo que possam ser coordenados com componentes e sistemas de outros empreiteiros. O BIM aborda a integração de engenharia ao facilitar a

integração do ambiente de trabalho dessas ferramentas e, também, ao suportar fluxos de trabalho que podem agilizar processos, tanto dentro de um único sistema quanto por meio de múltiplos sistemas que se baseiam em equipamentos, prazos e cronogramas compartilhados;

c) A modelagem no nível da construção aplica as melhores práticas e às vezes avança até o detalhamento, as especificações, a fabricação, a montagem e a orçamentação resultantes do controle da gestão visível dos processos construtivos. Esta é a força-base do BIM. Esta fase também aborda o que potencialmente pode ser alcançado mediante um processo de projeto e construção colaborativo, assim como junto de contratos de projeto e construção e Desenvolvimento Integrado de Empreendimentos (IPD, Integrated Project Delivery);

d) A especialização de tipologia de edificação aborda os requisitos especiais de um tipo de edificação em particular. Hospitais, aeroportos, estádios esportivos, shopping centers e igrejas – todas essas diversas tipologias têm seus próprios requisitos, funções implícitas e tradições que são únicas para cada tipo e que exigem considerações especiais. Requisitos únicos frequentemente resultam em fluxos de trabalho especializados adaptados aos tipos de edificação específicos.

Além de não existir um processo de projeto “padrão” em BIM, Manzione (2013) comenta que o processo de projeto evolui ao longo do tempo e a ele novos agentes são agregados, e em cada fase do processo os objetivos são configurados e confrontados com os resultados obtidos na fase anterior, possibilitando retorno caso eles não sejam alcançados.

2.3.4. Projeto em BIM e a interoperabilidade

De acordo com Holzer (2015), as consequências dos avanços com a metodologia BIM alteram profundamente o papel do arquiteto e do engenheiro, pois modificaram a maneira como os projetos são pensados, desenvolvidos e

compartilhados, aumentando também a responsabilidade e poder de decisão dos profissionais. No viés da compatibilização de projetos, Sena e Ferreira (2012) explicam que o principal objetivo é evitar que os projetos contenham interferências entre as diversas disciplinas, além de erros que possam gerar atrasos e desperdícios durante a construção. Ainda para os autores, a compatibilização dos projetos de engenharia é um dos objetivos do BIM.

Coelho et al. (2018) explicam que a compatibilização de projetos é um meio de gerenciamento dos projetos das diversas disciplinas envolvidas (arquitetônica, estrutural, instalações, etc.) no processo de construção da edificação, visando solucionar as incompatibilidades, mitigando os problemas que surgem na etapa de execução da obra. A incompatibilidade é o que gera a maior parte dos desperdícios de uma obra. Os autores também afirmam que a solução dessas interferências, ainda na fase de projeto, evita transtornos no canteiro de obras, além de reduzir de 5 a 8% os custos da construção, pois garante que a edificação seja construída conforme o projeto aprovado. Em outras palavras, o *As Built* da obra torna-se mais próximo do previsto no projeto. Assim, reduz-se a necessidade de aditivos, os quais aumentam o custo e o prazo de conclusão da obra.

A avaliação de sistemas para validação de regras automáticas, principalmente relacionadas a códigos construtivos, vêm ganhando ampla discussão no meio acadêmico. Um exemplo de software que executa esse tipo de validação dos modelos construtivos através de verificação de regras é o Solibri (*Solibri Model Checker*). O SMC tem como funcionalidade analisar modelos BIM com um conjunto de regras para identificar e avisar de potenciais problemas, conflitos ou violações que possam existir (EASTMAN et al., 2009). Andrade e Arantes (2017), por exemplo, abordaram as potencialidades do software Solibri para a verificação de critérios da Norma de Desempenho.

Para Andrade e Silva (2017), o desenvolvimento de um projeto de edificações é um processo colaborativo que envolve um conjunto de especialistas de várias disciplinas e que precisam interagir na troca de informações. Para cada disciplina, a evolução tecnológica proveu softwares específicos às suas necessidades, que

precisam interagir para a troca de dados, ainda que sejam produzidos por diferentes fabricantes, e com distinto formato proprietário. Nesse contexto, surge o conceito da interoperabilidade.

Segundo Eastman et al. (2008), a interoperabilidade representa a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos tipos de especialistas contribuam para o desenvolvimento dos trabalhos. Em processos de desenvolvimento de projetos em BIM, essa necessidade é mais evidente. A interoperabilidade elimina a necessidade de replicar a entrada de dados e facilita os fluxos de trabalhos de automação. Entretanto, para Ryu (2016), apesar dos vários esforços no mundo, existem problemas de interoperabilidade uma vez que, durante a conversão do formato de arquivo de um software para outro, ocorrem algumas indesejáveis modificações na geometria, além da perda de dados durante o processo de conversão.

O software SMC (*Solibri Model Checker*), que será utilizado neste trabalho, utiliza o formato IFC para leitura dos modelos. O IFC surgiu em 1995 com o objetivo de criar um padrão que permitisse a interoperabilidade de dados entre programas na área BIM. O principal objetivo desta iniciativa foi o de melhorar a comunicação, produtividade, tempo de entrega, custos e qualidade durante todo o ciclo de vida do edifício, através da possibilidade de permuta de informação entre os intervenientes no projeto independentemente dos programas usados por cada um (PINHO, 2013). O IFC, de acordo com Eastman et al. (2014), é um formato “não proprietário” acessível livremente para a caracterização de objetos na indústria da construção civil. Como descrito por Manzione (2013), o IFC compreende todos os elementos envolvidos no processo de construção de uma edificação e em todo seu ciclo de vida. Pode ser considerado a forma mais apropriada para visualizar e examinar dados sem a necessidade de uso das aplicações nativas de cada parceiro do projeto. O IFC é neutro e independente, não pertencente a um único fornecedor de software.

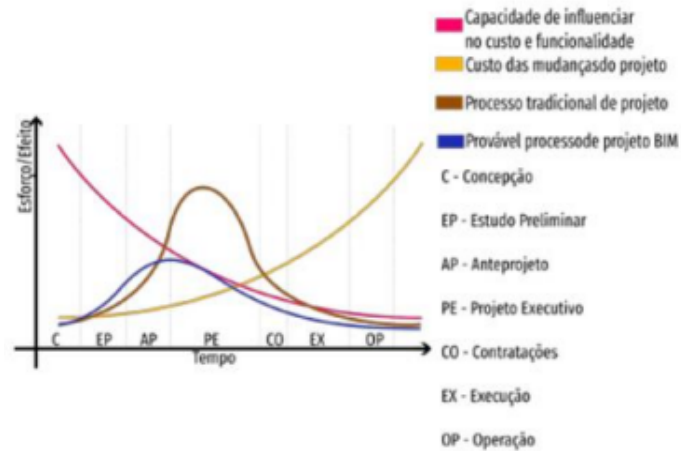
Existe um crescente interesse na utilização de projetos BIM relacionados ao consumo energético das edificações, mas ainda é necessário melhorar a

interoperabilidade entre softwares BIM com ferramentas termo-energéticas (CHONG; LEE; WANG, 2017). Segundo Kensek (2018), este problema de interoperabilidade diz respeito quando um projeto já está modelado em BIM e as simulações são feitas em outro software mais preciso de avaliação termo energética.

2.3.5. Projeto BIM e desempenho térmico

Neste viés, uma das contribuições do BIM para o processo projetual é a possibilidade de incorporar as avaliações de soluções, que consistem na avaliação do desempenho térmico, lumínico, estrutural, dentre outros, ainda na sua fase conceitual, permitindo uma grande influência nos custos, desempenho e na qualidade da edificação. Através de uma interpretação da curva de McLeamy com as fases de desenvolvimento do projeto associadas ao processo BIM, demonstrado na Figura 09, é possível verificar que a principal diferença com o processo tradicional, é o maior esforço no BIM para tomada de decisões nas fases iniciais do projeto, que representam um maior impacto na qualidade final do produto, com menores custos de mudanças no projeto (ABDI, 2017a).

Figura 09 - Curva de McLeamy associada às etapas do projeto e o processo BIM.



Fonte: ABDI (2017a)

O BIM tem-se expandido rapidamente no século XXI por proporcionar controle visual no projeto e construção de empreendimentos, detecção de interferências e melhor colaboração entre os profissionais envolvidos no projeto (REIS, 2019). A possibilidade de antecipar a maior quantidade de decisões ainda nas fases iniciais do projeto, possibilita a redução de desperdícios e retrabalhos durante a fase de obras, refletindo diretamente no custo e na qualidade final da edificação. A definição de mais critérios na fase de concepção permite a redução de incertezas e a melhoria na assertividade das soluções do projeto, tendo em vista que os componentes de um projeto em BIM não são meras representações gráficas, pois interagem entre si melhorando o entendimento do funcionamento da edificação (ABDI, 2017a).

Tais análises baseadas em simulações utilizando softwares específicos de análise de desempenho energético devem ser feitas por especialistas sempre tendo em vista as normativas vigentes. Por fim, o método apresentado neste TCC tem como objetivo auxiliar na pré avaliação da edificação residencial antes do envio do projeto para aprovação municipal de forma que possa ser feito por projetistas que não necessariamente são especialistas em softwares de simulação térmica. Por este motivo, propõe-se a utilização de software para a avaliação da área de ventilação e

área de elementos transparentes além da utilização do checklist e fluxograma para análise do atendimento dos requisitos mínimos de uso residencial pelo método simplificado da NBR 15.575-4 (ABNT, 2021).

3.METODOLOGIA

Segundo Gil (2002), o termo pesquisa pode ser definido como o procedimento racional e sistemático que tem por objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos, a qual é desenvolvida mediante aplicação de conhecimentos disponíveis e a utilização de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos.

A pesquisa pode ser classificada em exploratórias, descritivas e explicativas de acordo com os objetivos gerais (GIL, 2002). Dessa maneira, o tipo de pesquisa adequado ao presente Trabalho de Conclusão de Curso é a do tipo exploratória, que pode ser entendida como:

“Estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. Na maioria dos casos, essas pesquisas envolvem: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que "estimulem a compreensão". (GIL, 2002, pag. 41).

Já quanto aos procedimentos, a pesquisa pode ser classificada como pesquisa-ação, que segundo a definição de Thiollent (1985, p. 14): "... é um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos do modo cooperativo ou participativo." (GIL, 2002).

A pesquisa-ação tem como objetivo resolver ou explicar problemas encontrados em certo sistema. Busca, além disso, produzir conhecimento tanto para a prática quanto para a teoria. Assim como o estudo de caso, tem um cunho exploratório, descritivo e explicativo. (DRESCH, 2015).

Para melhor explanar sobre como se pretende alcançar os objetivos propostos, este capítulo está dividido em duas partes: etapas e objeto de estudo.

3.1.Etapas

O presente TCC tem por objetivo desenvolver uma ferramenta que agilize a avaliação de desempenho térmico da NBR 15.575 (ABNT, 2021) pelo método simplificado em edificações residenciais modeladas em BIM, com foco no clima da cidade de Florianópolis.

Sendo assim, para sua realização serão apresentados neste capítulo os métodos utilizados para a consecução dos objetivos propostos anteriormente. De modo geral, esse trabalho foi pautado em pesquisa bibliográfica, estudo de normas, palestras e matérias disponíveis na *web*. A tabela 03 apresenta esquematicamente a metodologia aplicada no decorrer deste trabalho para alcançar cada um dos objetivos específicos propostos.

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver estratégias de auxílio na avaliação de desempenho térmico e avaliar a aplicabilidade e os desafios da verificação dos requisitos de projeto de forma automatizada com a utilização do software Solibri Model Checker (SMC) em modelos BIM.

Uma das estratégias propostas aqui para auxiliar na avaliação do desempenho térmico de uma edificação residencial, é um fluxograma que mostra o passo a passo do método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2021). Outra estratégia proposta, foi um checklist que possa auxiliar objetivamente os projetistas, construtoras, incorporadoras, e até prefeituras municipais, na conferência do atendimento dos requisitos e critérios exigidos pela ABNT NBR 15.575 (ABNT, 2021), com relação ao desempenho térmico.

Tabela 03 - Metodologia Resumida do Trabalho

Objetivo Especifico	Atividades desenvolvidas	Materiais	Resultados
Desenvolvimento de fluxograma do método simplificado de desempenho térmico da NBR 15.575 para clima de Florianópolis	Pesquisa bibliográfica; Análise da NBR 15.575; Elaboração de fluxograma; definição dos principais parâmetros para o checklist	NBR 15.575 (ABNT, 2021); Normas técnicas, dissertações, artigos, laudos existentes, etc Computador pessoal; software: Miro	Fluxograma do passo a passo para avaliação desempenho térmico de edificações residenciais em Florianópolis; Lista de itens para conferência dos critérios de desempenho térmico
Desenvolvimento de checklist para aferição de desempenho térmico de projeto BIM antes do envio para PMF	Pesquisa bibliográfica; Análise da NBR 15.575; Aplicação do fluxograma	NBR 15.575 (ABNT, 2021); Computador pessoal; software: Excel, Revit e Solibri	Comparação de critérios de desempenho térmico da NBR 15.575 e onde estes valores podem ser obtidos/calculados a partir de informações disponíveis no Revit e ou Solibri
Aferição do checklist acima em software BIM	Validação dos dados, e listagem das dificuldades encontradas através do checklist realizado.	Checklist; Computador pessoal; software: Revit e Solibri	Listagem de cuidados e definição de parâmetros e informações necessárias na criação de bibliotecas para projetos BIM
Avaliar formas de traduzir diretrizes normativas para a linguagem do Solibri Model Checker.	Pesquisa bibliográfica; Análise da NBR 15.575;	NBR 15.575 (ABNT, 2021); Checklist; Fluxograma; Computador pessoal; software: Revit e Solibri, Projeto Arquitetônico desenvolvido em BIM	Regras do SMC para análise de projetos de forma automatizada.
Parametrizar regras do SMC para uso em modelos de construção virtual BIM, com o intuito de atender às exigências de projeto da parte térmica da NBR 15.575.	Pesquisa bibliográfica; Análise da NBR 15.575; definição da regra para verificação de requisitos térmicos no projeto.	NBR 15.575 (ABNT, 2021); Checklist; Fluxograma; Computador pessoal; software: Revit e Solibri, Projeto Arquitetônico desenvolvido em BIM	Conferência ao atendimento a requisitos térmicos de área de ventilação e elementos transparentes estabelecidos pela NBR 15.575
Descrever o passo a passo um modelo teste para que o processo de automatização no Solibri possa ser replicável por projetistas e analistas.	Pesquisa e validação do uso da ferramenta para análise de projetos.	Computador, Revit, Solibri Model Checker.	Passo a passo do processo de criação de regras para análise de área de ventilação e área de elementos transparentes.
Testar e avaliar a parametrização proposta em um empreendimento modelado através do software Revit.	Conferência e validação das regras criadas no Solibri	NBR 15.575 (ABNT, 2021); Checklist; Fluxograma; Computador pessoal; software: Revit e Solibri, Projeto Arquitetônico em BIM	Indicação de quais esquadrias atendem e quais esquadrias não atendem os requisitos propostos na Norma Desempenho

Fonte: Autoras.

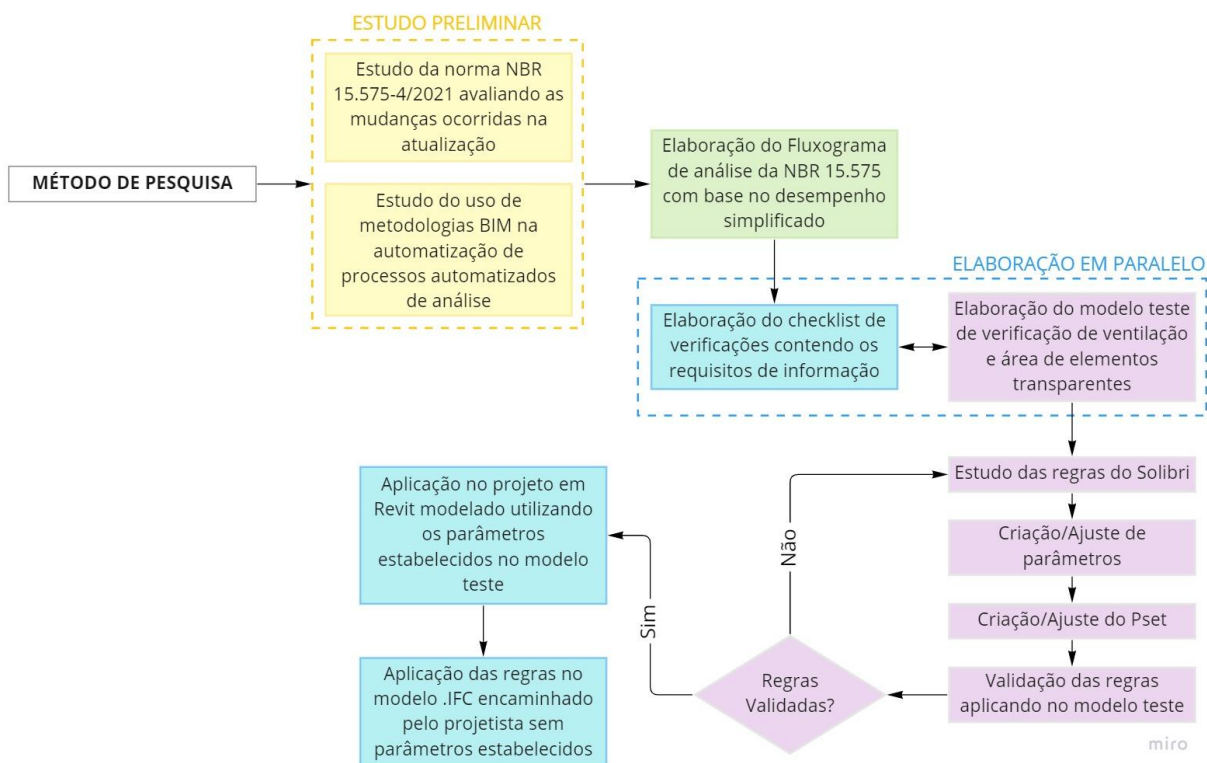
Para o fluxograma, que foi elaborado usando a ferramenta gratuita de lousa interativa Miro, foram seguidos os procedimentos, tabelas, e critérios apresentados na NBR 15.575 com relação ao desempenho térmico. A criação do checklist, foi feita utilizando planilha do excel, estes dois itens encontram-se descritos no capítulo 4 - Apresentação dos resultados.

Dessa forma, passou-se para a parte de validação do fluxograma e da planilha propostos. Para isso, utilizou-se de um projeto de uma edificação residencial multifamiliar desenvolvido no Revit, onde se procurou desenvolver o projeto em BIM. Esta validação serviu para avaliar os desafios e vantagens na extração das informações necessárias para alimentar com dados a planilha de avaliação do desempenho térmico pelo método simplificado.

A etapa de validação ocorreu concomitantemente a testes que foram feitos de como retirar estas informações de forma automatizada. Esta parte do trabalho possibilitou visualizar os requisitos de informações necessários, cuidados e definição de parâmetros, além de informações necessárias na criação de bibliotecas para projetos BIM, tendo como foco obter-se informações para avaliação de desempenho térmico da NBR 15.575 (ABNT, 2021) em um projeto residencial. Por ser uma pesquisa exploratória, o capítulo 4 apresenta o processo descritivo e explicativo das atividades desenvolvidas para a automatização da obtenção de informações das geometrias e propriedades térmicas necessárias para avaliar pelo procedimento simplificado o desempenho térmico de paredes.

A figura 10 apresenta esquematicamente, a partir de um fluxograma, as etapas feitas na pesquisa-ação deste TCC.

Figura 10 - Fluxograma das etapas de pesquisa.



Fonte: Autoras.

O projeto de edificação a ser utilizado para aferição das etapas finais de elaboração do método proposto na figura 09, onde é feita a análise de forma automatizada da área de abertura de ventilação e área de elementos transparentes, está descrito no próximo item deste capítulo como Objeto de Estudo.

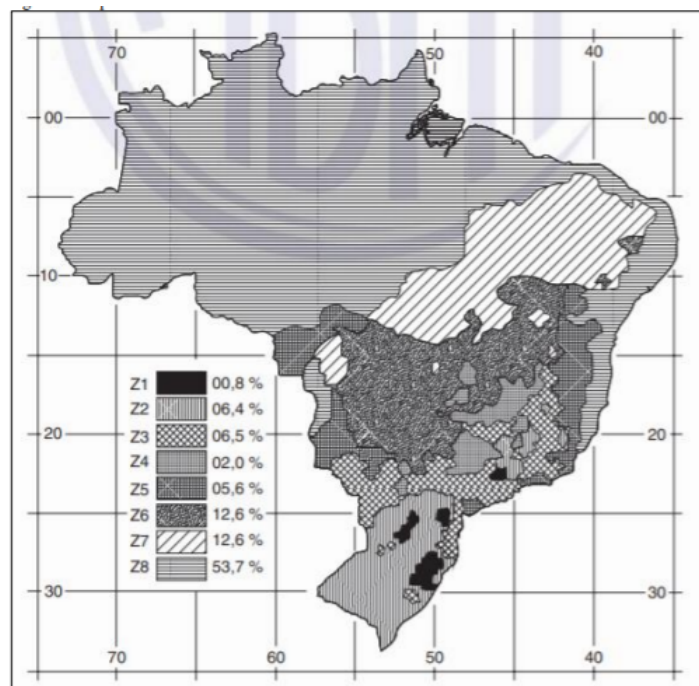
Como critério de escolha, a edificação em estudo fica localizada no centro de Florianópolis (Figura 11), sendo que pela NBR 15.220 (ABNT, 2015) essa cidade situa-se na zona bioclimática 3 (Figura 12).

Figura 11 - Localização do edifício A



Fonte: Site do edifício A

Figura 12 - Zonas Bioclimáticas

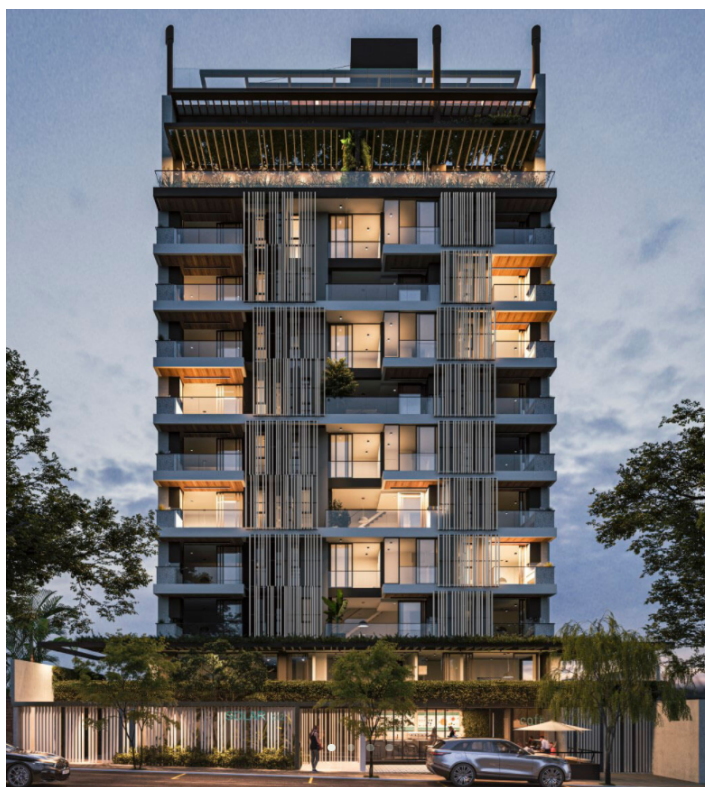


Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2015).

3.2. Objeto de Estudo

O empreendimento analisado é classificado como de alto padrão, localizado em área nobre no centro de Florianópolis, no estado de Santa Catarina. Uma das premissas do projeto é garantir ampla iluminação natural e arquitetura contemporânea, valorizando o design e a sofisticação. O projeto possui 24 unidades privativas de 2 e 3 dormitórios com plantas do tipo duplex e garden. Além disso, conta com um rooftop com área de lazer e térreo com loja comercial.

Figura 13 - Imagem comercial do Edifício A



Fonte: Site do edifício A

O empreendimento encontra-se atualmente em fase de projeto. Desta forma, todos os dados a serem analisados são referentes ao próprio projeto, ou a definições estabelecidas no DNA da construtora. O DNA é um arquivo que contém

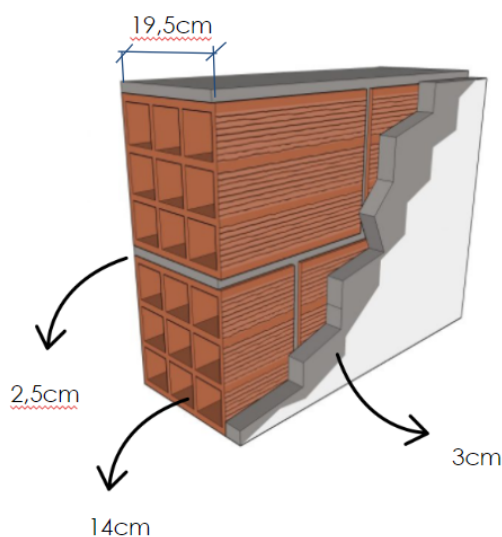
informações sobre o modo de trabalho da construtora bem como particularidades construtivas, que são características de cada empresa. Assim, os dados obtidos podem sofrer variações conforme o andamento das verificações técnicas até o final da fase de compatibilização de projetos. Segue tabela 04 com os dados extraídos, que podem ser exemplificados também a partir da figura 14.

Tabela 04 - Dados do projeto

SISTEMA DE VEDAÇÃO EXTERNA	
Material	Bloco cerâmico 9 furos
Dimensão blocos	14x19x29cm
Espessura revestimento externo	3,0cm
Espessura revestimento interno	2,5cm
Espessura assentamento	1,5cm
Absortância fachada	0,6

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Figura 14 - Sistema de vedação externa



Fonte: Adaptado do site Projetee.

A análise das informações foi realizada a partir do software Solibri, a fim de facilitar a retirada das informações referente às aberturas do projeto modelado no

Revit. Para que a retirada de informações ocorra da melhor forma possível, alguns padrões devem ser estabelecidos para que as informações possam ser automatizadas, tornando assim, o produto final deste TCC repetível e escalável, podendo ser usado para diversas edificações.

Desta forma, os requisitos de informação necessários para execução do projeto podem ser avaliados na tabela 05.

Tabela 05 - Requisitos para modelagem de projeto

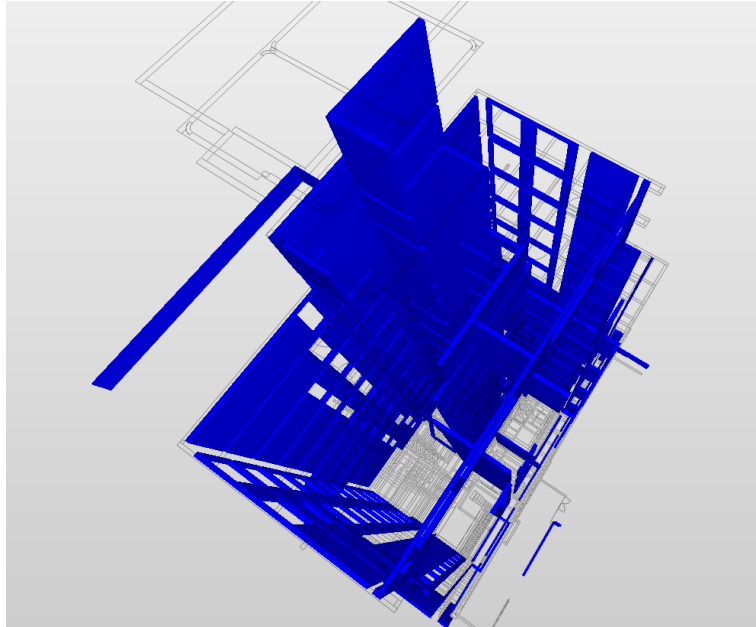
Requisitos de informações dos elementos	
Padrões de nomenclatura	
Tipo de arquivo	Nomenclatura
Revit / IFC	CNT_PRJ_ARQ_V00
Família de janelas	JANELA_TIPO ABERTURA_FOLHAS_MATERIAL_DIMENSÕES
Alvenaria de vedação	ALV_TIPO DE BLOCO_ESPESSURA
Revestimento interno	REV_INT_ARGAMASSA_ESPESSURA
Revestimento de fachada	REV_EXT_FACHADA_MATERIAL_COR_ESPESSURA
Parâmetros de Esquadria	
Local	Nomenclatura
Janelas	FACHADA NORTE/ FACHADA SUL/ FACHADA LESTE/ FACHADA OESTE
Ambientes no Revit	
Tipos de Local	Recomendação de nomenclatura
Sala / Sala de Estar / Sala de Jantar	Sala
Dormitório / Quarto	Dormitório
Suíte	Suíte
Cozinha	Cozinha
Banheiro / Banho	Banheiro
Área de Serviço	Área de Serviço
Lavabo	Lavabo

Fonte: Autoras.

No projeto encaminhado pelo arquiteto em formato .IFC, as paredes de fachada foram definidas com espessura de 20 cm. As camadas da parede, nas configurações dos materiais, não foram definidas ainda nessa fase de projeto. Na

figura 15, podemos observar as paredes de fachada de 20cm isoladas dentro do software Solibri.

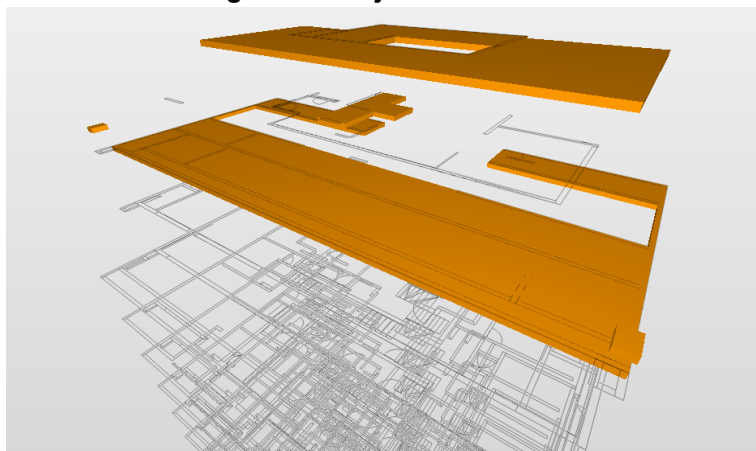
Figura 15 - Paredes de fachada



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Ainda utilizando o Solibri, foi isolado a laje de cobertura. Neste TCC não será avaliado o desempenho da cobertura desta edificação, porém, para fins de ilustrar qual seria o objeto de estudo, pode-se observar na figura 16 o trecho de cobertura desta edificação que deveria ser analisado.

Figura 16 - Laje de cobertura



Fonte: Elaborado pelas autoras.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo está dividido em duas partes. Na primeira parte é apresentado o fluxograma, e na segunda parte uma planilha de excel, com o checklist para avaliação do desempenho térmico pelo procedimento simplificado da NBR 15.575 de elementos de vedação vertical externa (paredes e aberturas). O fluxograma e a planilha foram elaborados como apoio no aprendizado destas acadêmicas na avaliação do desempenho térmico pelo procedimento simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2021). Tanto o fluxograma, quanto a planilha, podem ser usados em projetos arquitetônicos impressos para avaliar o atendimento ao desempenho térmico pelo método simplificado.

4.1. Fluxograma das etapas de avaliação do desempenho térmico pelo Método Simplificado.

Como apresentado no referencial teórico deste TCC, o método simplificado permite apenas analisar se a edificação atende ao desempenho térmico mínimo, considerado de caráter obrigatório para ambientes de permanência prolongada (App). Para categorizar a edificação pelos níveis intermediário e superior, faz-se necessário uma avaliação por simulação computacional, que não é o escopo deste TCC.

O fluxograma foi elaborado a partir da análise dos requisitos de avaliação do desempenho térmico de fechamentos verticais de ambientes de permanência prolongada pelo procedimento simplificado da NBR 15.575-4 (ABNT, 2021). O fluxograma está disponível no link abaixo e no Apêndice 01.

O fluxograma está numerado em uma sequência de 12 etapas. A primeira etapa do fluxograma consiste na determinação da transmitância térmica ponderada das paredes. A segunda se trata do cálculo do percentual de abertura referência

para ventilação. A avaliação dos elementos transparentes é calculada no terceiro tópico. Dessa forma, segue-se verificando de uma maneira bem clara ponto a ponto os requisitos do procedimento simplificado.

[LINK DO FLUXOGRAMA](#)

4.2. Lista de aferição (Checklist) da avaliação do desempenho térmico pelo Método Simplificado.

O checklist apresentado a seguir foi desenvolvido pelas autoras, visando à fácil compressão e conferência do projeto nos requisitos da parte 4 da NBR 15575, no que diz respeito ao desempenho térmico de SVVE pelo método simplificado. Nele contém exigências e requisitos a serem atendidos, para aferição dos projetos BIM antes do envio para aprovação na Prefeitura.

O checklist executado está disponível no link abaixo. Para a análise facilitada no presente TCC, o checklist pode ser observado no Apêndice 2.

[LINK DO CHECKLIST](#)

O checklist foi dividido em duas fases. Na primeira fase é feita a conferência dos requisitos de informação do elemento (RIE). Essa conferência é necessária para que as informações sejam padronizadas no projeto, facilitando a compreensão da análise.

A padronização começa pela nomenclatura do arquivo. A nomenclatura padrão no arquivo facilita na atualização do projeto e na localização de versões anteriores. Além disso, é necessário definir nomenclaturas padrão para as famílias que serão usadas de maneira que possam ser identificadas facilmente através do nome, tipo de janela, alvenaria, argamassa e revestimento que está sendo usado, além de suas dimensões. Em relação ao parâmetro de instância das esquadrias, é necessário que haja uma padronização pois a informação será usada depois para a automatização da análise do desempenho. No caso deste TCC, utilizamos a

parametrização de instância e não de tipo pois é algo que precisa ser mudado em cada esquadria e não deve ser uma nomenclatura única para a família. Por fim, faz-se a conferência do atendimento às recomendações de nomenclatura dos ambientes que auxiliam na classificação das informações dentro do Solibri. Caso alguma nomenclatura precise ser alterada ou inserida, é necessário validar com o cliente.

Na segunda fase do checklist constam todos os itens a serem avaliados na NBR 15.575-4. Estão elencados os coeficientes necessários para o cálculo da transmitância térmica das paredes externas, capacidade térmica das paredes externas, percentual de abertura para ventilação e elementos transparentes.

Para facilitar a visualização, adotou-se o preenchimento da célula na cor verde para os itens em concordância com a norma e vermelho para os itens que necessitam de providência para adequação.

4.3. Estudo de estratégias de avanço para análise da automatização da extração de informações em arquivo BIM

O estudo iniciou partindo do checklist de análise da norma. Para as informações necessárias para os tópicos 1 e 2 da segunda fase do checklist (“U” e CT), verificou-se que haveria duas opções para avaliação dos parâmetros:

A. A primeira seria, no início da execução do projeto, estabelecer junto ao arquiteto os requisitos de informação dos elementos (RIE) para que na família de paredes utilizada contenha os valores de transmitância (calculado devido ao tipo de material, espessura e condutividade térmica), capacidade térmica, e absorvância, fator solar do vidro ou etiqueta de nível de desempenho da esquadria;

B. A segunda seria obter as informações de propriedades térmicas a partir da calculadora ou dos exemplos disponíveis no site Projeteee (<http://www.mme.gov.br/projeteee>), e estabelecer os critérios de informação padrão

do empreendimento com base no tipo de parede de fachada e esquadrias (estabelecido no Nível de Informação Necessário e DNA da construtora).

Desta forma, como o projeto arquitetônico já havia sido modelado pelo arquiteto não considerando a hipótese “A” mencionada acima, foi estabelecido então que para a análise dos dados de transmitância, capacidade térmica e resistência, seriam coletados os dados fornecidos pelo site Projeteer (Figura 17 e Figura 18).

Figura 17 - Composição da parede estabelecida no projeteer

	CAMADA	MATERIAL	RESISTÊNCIA TÉRMICA
⊗	1	Argamassa 3	0,0300
⊗	2	Bloco cerâmico 14x19x29 cm 14	0,304
⊗	3	Argamassa 2.5	0,025

ADICIONAR CAMADA NA BASE

Fonte: Projeteer

Figura 18 - Dados obtidos no projeteer

SEU MATERIAL	
Resistência Térmica Total:	0,53
Atraso Térmico ϕ (horas):	3,9
Capacidade Térmica (kJ/m²K):	158,8
Transmitância Térmica (W/m²K):	1,9

Fonte: Projeteer

Já para os tópicos 2 e 3 do checklist (ventilação e iluminação) foram estudadas também duas opções de análise.

1) A primeira seria modelar revestimentos nas paredes de fachada do projeto de Revit encaminhado pelo projetista no formato “parede cebola”, onde o revestimento fica separado da alvenaria. Seria necessário realizar essa separação pois para execução dos cálculos de área de ventilação, precisaríamos da área interna da parede da fachada onde há janela. Com os dados de área de parede e de piso em mãos, seria necessário gerar os quantitativos no Revit a partir de tabelas e exportar essas tabelas para o excel, fazendo com que, manualmente, os cálculos fossem feitos;

2) Na segunda opção, seria utilizando o software Solibri criando, a partir de regras, uma análise automatizada do projeto. Porém para que isso ocorra, seria necessário estabelecer alguns parâmetros no Nível de Informação Necessário do projeto para que os resultados fossem extraídos com a menor quantidade de passos possível.

Avaliou-se que, considerando que o trabalho é baseado em BIM, seria pouco viável realizar a análise a partir da primeira opção. Optou-se então pela segunda opção de análise.

Na segunda opção, seria necessário que alguns parâmetros fossem estabelecidos já no Nível de Informação Necessário para que as janelas viessem nomeadas por fachada, fazendo com que pudessem ser analisadas de forma separada seguindo os critérios de elementos transparentes da tabela 16 da NBR 15575-4 (ABNT, 2021) e também os critérios de percentual de abertura de ventilação conforme a tabela 15 da NBR 15575-4 (ABNT, 2021). Mesmo sem esses parâmetros estabelecidos no início do projeto em conjunto com o projetista, foi considerado que o resultado extraído poderia ser mais vantajoso utilizando o Solibri. Desta forma, a análise foi dividida em 3 etapas:

- 1ª etapa: Criação de um modelo teste para análise dos dados;

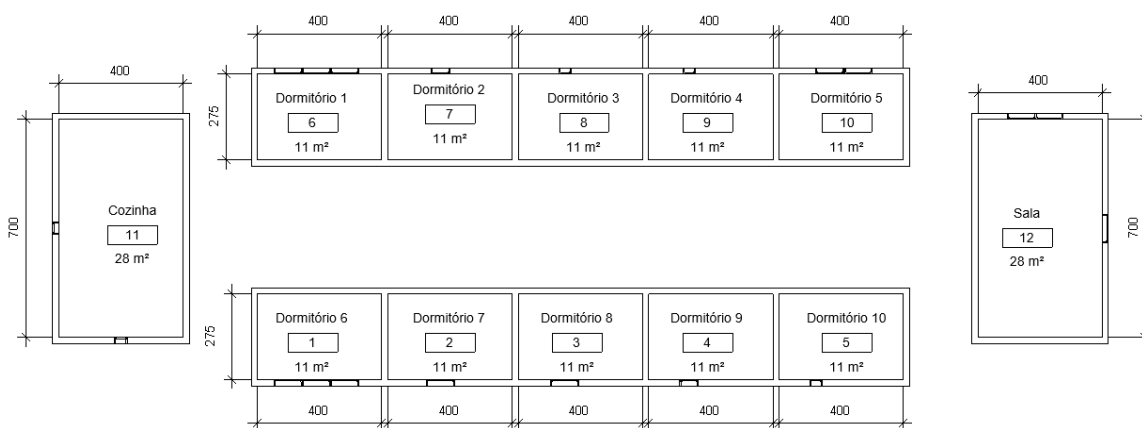
- 2ª etapa: Aplicação das regras em um modelo BIM do projeto gerado em Revit, inserindo parâmetros para classificar janelas por fachada;
- 3ª etapa: Aplicação das regras no modelo encaminhado em formato .IFC pelo projetista arquitetonico.

Abaixo será descrito o processo de criação da primeira etapa onde toda a análise foi executada com o projeto teste. A análise da segunda e terceira etapas serão apresentados no tópico de Resultados e Discussões, pois o processo aplicado para obtenção dos resultados foi o mesmo aplicado na Etapa 1.

4.3.1 Procedimento de automatização da verificação de iluminação e ventilação com base no procedimento simplificado da NBR 15575-4

Foram modelados ambientes de mesmo tamanho com janelas de tamanhos variados. O intuito desta variação nas esquadrias é avaliar os limites mínimos de área de abertura de ventilação e os limites máximos de abertura de iluminação. Conforme estabelecido na NBR 15575-4 e descrito no item 02 do fluxograma, o mínimo de abertura de ventilação para um ambiente é de 7% a área do ambiente, enquanto o limite máximo de abertura de iluminação é entre 20% e 30% da área do ambiente. Na figura 19 abaixo, obtivemos a planta baixa do projeto teste.

Figura 19 - Planta baixa projeto teste



Fonte: Autoras

Para analisar as janelas por fachadas, foi necessário a inserção de um parâmetro de instância nas janelas. Este parâmetro serviu para classificar as janelas com base na posição solar do edifício, sendo então classificadas como: FACHADA NORTE, FACHADA SUL, FACHADA LESTE e FACHADA OESTE. É importante ressaltar que essa definição já precisa ser dada pelo projetista no início do projeto, a fim de evitar retrabalhos posteriormente. Por fim, foram inseridos ambientes nos cômodos.

Para exportar o IFC, foram definidos os parâmetros que exportam os ambientes, pois eles serão importantes posteriormente para as regras do Solibri. Os parâmetros setados foram:

- 1) *Modify Setup > Additional Content > Export rooms in 3D views*
- 2) *Modify Setup > Advanced > Use 2D room boundaries for room volume*

Para que os parâmetros de fachada sejam reconhecidos dentro do IFC, foi necessário inserir um *Property Sets* no momento da exportação. Os IFC *PropertySets* têm a capacidade de acrescentar propriedades que são variáveis, como códigos de edificação, classificações, etc., a uma entidade. Para extrair a informação de fachada inserida nas esquadrias e poder classificá-las posteriormente, foi inserido o Pset criado em arquivo de bloco de notas da Figura 20.

Figura 20 - Pset

```
PropertySet: Pset_TCC_SN    I    IfcDoor,IfcWindow
    Fachada    Text FACHADA
```

Fonte: Autoras

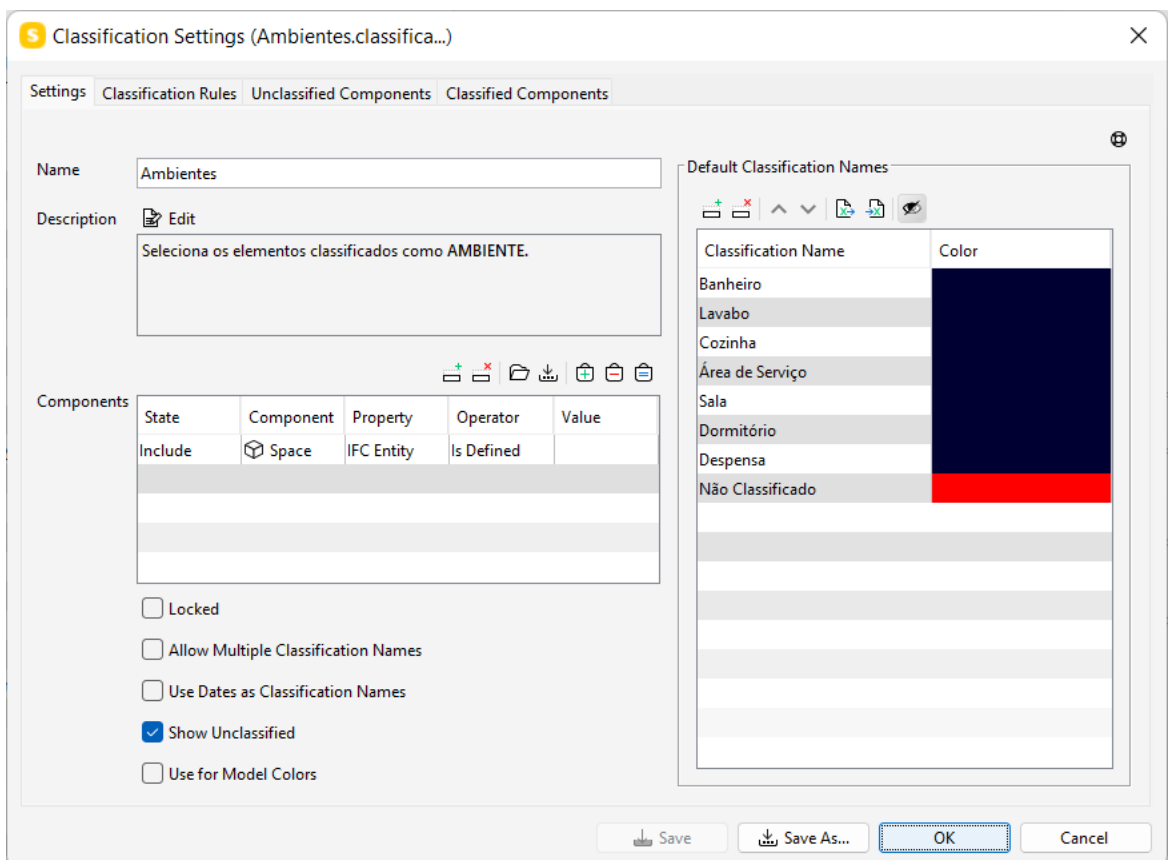
Com o projeto exportado em IFC e carregado no Solibri, foram inseridas então as *classifications* e *rulesets*, que serão explicadas na sequência. *Classifications* são

formas de classificação da informação, assim como regras de análise que existem de forma padrão no projeto.

O primeiro passo para a análise foi criar, a partir do Solibri Office, um arquivo federado com o modelo de arquitetura e estrutura juntos. Após federar o projeto, é necessário que seja inserido o *classification*, que separa os ambientes do modelo. Para criar o *classification*, utilizamos dos passos a seguir:

- 1) *Information Takeoff > Classifications > New Classification.*
- 2) Foram preenchidas as informações fazendo com que ele inclua qualquer espaço, sendo estes espaços a partir de então denominado como ambiente. É importante observar que para que a regra funcione, os espaços de ambientes devem ser modelados e incluídos no momento da exportação para o IFC conforme indicado acima, caso contrário, essa regra não se aplicaria (Figura 21).

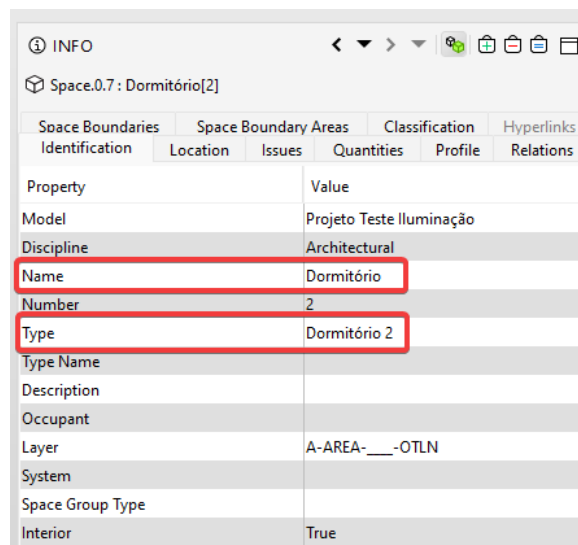
Figura 21 - Classification Settings



Fonte: Autoras

3) Com os espaços sendo classificados como ambientes, foi possível executar então as regras de classificação. Estas regras irão ajudar a nomear e definir os ambientes. No projeto em questão, as informações de nome do ambiente podem ser encontradas no item de *Name* e *Type*. Desta forma, foi filtrado a partir do *Name* o nome dos ambientes modelados pelo projetista (Figura 22). Nesse momento vê-se a importância de definir junto ao projetista a nomenclatura dos ambientes, pois, as mesmas configurações podem ser usadas para todos os projetos e não será necessário realizar o cadastro novamente dos ambientes já que esta classificação pode ser exportada e carregada em outro projeto.

Figura 22 - Nomenclatura de ambiente



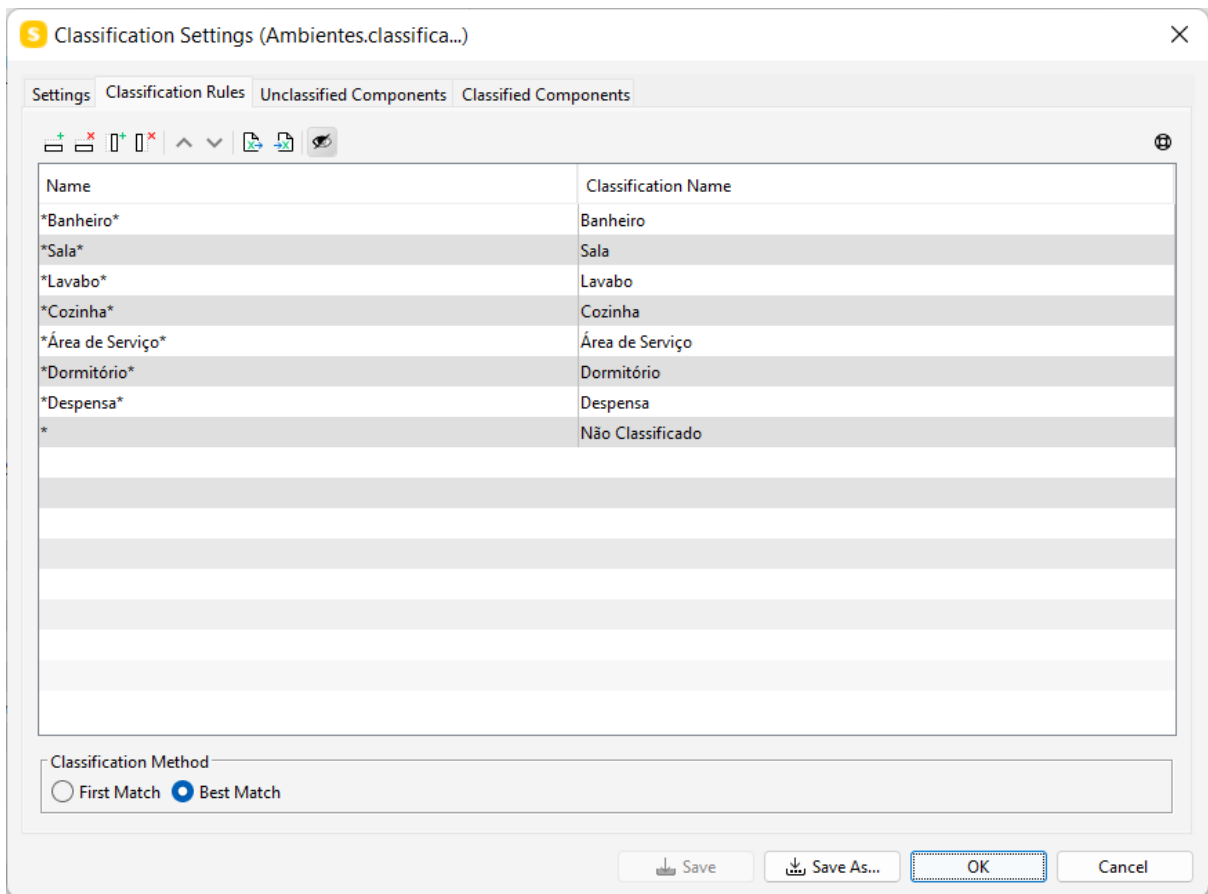
INFO					
Space.0.7 : Dormitório[2]					
Space Boundaries	Space Boundary Areas	Classification	Hyperlinks		
Identification	Location	Issues	Quantities	Profile	Relations
Property	Value				
Model	Projeto Teste Iluminação				
Discipline	Architectural				
Name	Dormitório				
Number	2				
Type	Dormitório 2				
Type Name					
Description					
Occupant					
Layer	A-AREA-___-OTLN				
System					
Space Group Type					
Interior	True				

Fonte: Autoras

4) Com essa configuração pronta, já se pode iniciar a classificação dos ambientes (Figura 23). No projeto teste, classificamos com algumas nomenclaturas padrões para que a quantidade de nomes fosse reduzida. Na coluna da esquerda podemos ver as nomenclaturas de ambientes que podem estar contidas no projeto

teste. Já na coluna da direita, podemos observar as classificações criadas para cada um dos ambientes.

Figura 23 - Nomenclatura de ambiente



Fonte: Autoras

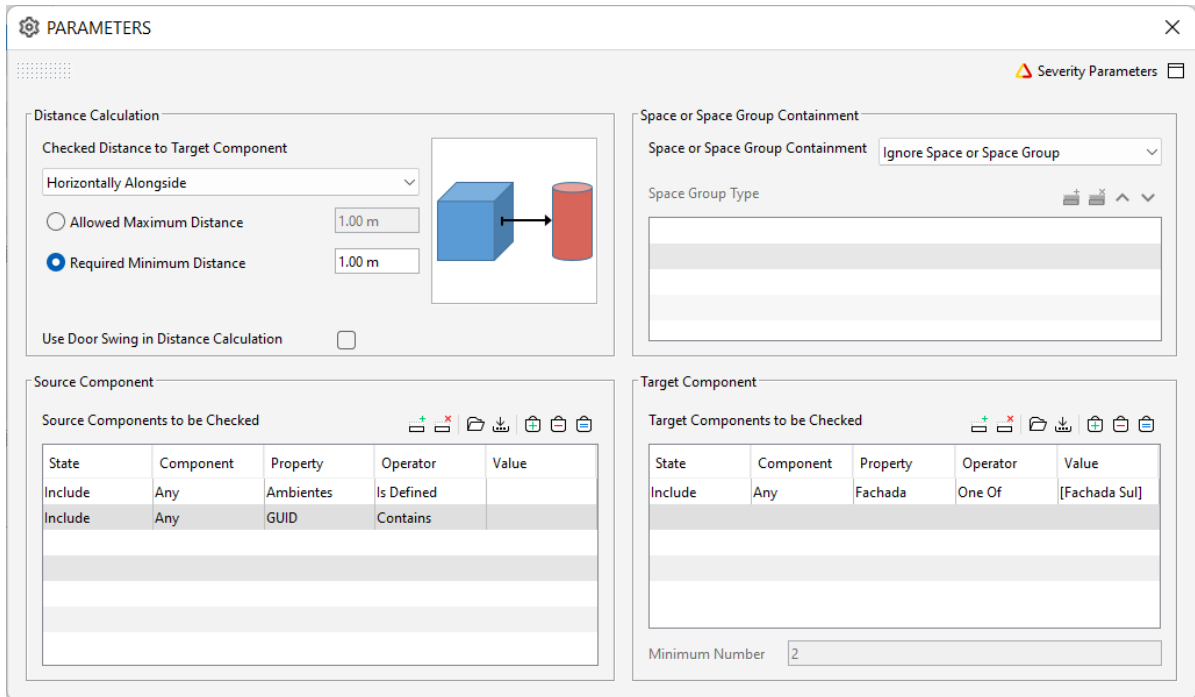
Com a classificação dos ambientes pronta, o próximo passo é criar as regras. Para criar as regras foi necessário seguir os seguintes passos:

- 1) *File > Rule Manager*
- 2) Para que as regras fossem rodadas seguindo as particularidades da zona bioclimática de Florianópolis com relação à área de vidro, foi necessário criar um *gatekeeper*. O *gatekeeper* é um regra que gera uma pré-condição para que outra regra seja rodada. Desta forma, foi utilizada a regra de *Component Distance* como uma condição em relação a orientação da esquadria por fachada (Figura 24) e a regra *Spaces Must Have Enough Window Area* para a análise da ventilação e iluminação (Figura 25). Para a regra de ventilação e iluminação foi necessário variar

a área máxima de 30% para esquadrias de fachada sul e 20% para demais esquadrias.

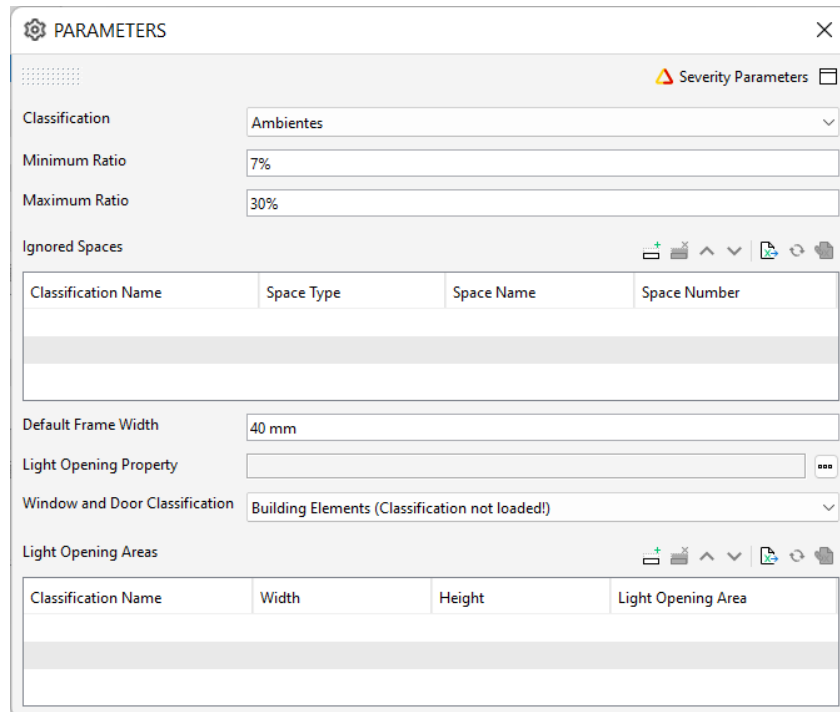
Com isso, foram estabelecidos os critérios a serem analisados nos projetos.

Figura 24 - Regra de condição



Fonte: Autoras

Figura 25 - Regra de análise de ventilação e iluminação



Fonte: Autoras

4.4 Análise de dados do projeto teste

Foi criado um modelo teste no Revit que fizesse uso dos parâmetros estabelecidos dentro das esquadrias. Também, foram criados ambientes (*Room*), sendo exportados posteriormente em formato IFC com o Pset criado para extrair as informações da esquadria de fachada. A Tabela 06 traz os dados de esquadrias extraídos do projeto, e a Tabela 07 apresenta os dados de ambientes e áreas.

Tabela 06 - Dados de esquadrias e ambientes

ÁREA DE ABERTURA DE JANELAS			
Esquadrias	Altura (cm)	Largura (cm)	Área (m ²)
FACHADA LESTE			
90 x 180 cm	180,00	90,00	1,62
FACHADA NORTE			
90 x 180 cm	180,00	90,00	1,62
60 x 60 cm	60,00	60,00	0,36
40 x 120 cm	120,00	40,00	0,48
40 x 60 cm	60,00	40,00	0,24
90 x 120 cm	120,00	90,00	1,08
90 x 180 cm	180,00	90,00	1,62
90 x 180 cm	180,00	90,00	1,62
90 x 120 cm	120,00	90,00	1,08
90 x 180 cm	180,00	90,00	1,62
90 x 180 cm	180,00	90,00	1,62
FACHADA OESTE			
40 x 180 cm	180,00	40,00	0,72
FACHADA SUL			
90 x 180 cm	180,00	90,00	1,62
90 x 120 cm	120,00	90,00	1,08
90 x 60 cm	60,00	90,00	0,54
60 x 180 cm	180,00	60,00	1,08
40 x 180 cm	180,00	40,00	0,72
90 x 180 cm	180,00	90,00	1,62
90 x 180 cm	180,00	90,00	1,62
40 x 180 cm	180,00	40,00	0,72

Fonte: Autoras

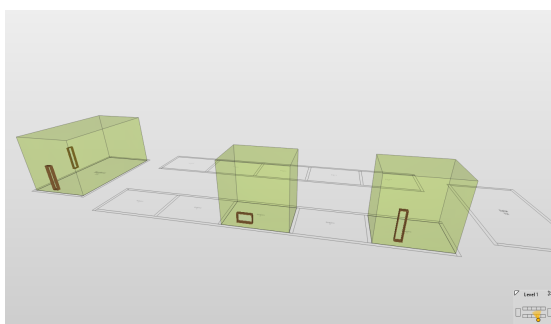
Tabela 07 - Dados de ambientes

ÁREA DE AMBIENTE		
Ambiente	Área (m ²)	Fachadas
Dormitório 1	11,00	Norte
Dormitório 2	11,00	Norte
Dormitório 3	11,00	Norte
Dormitório 4	11,00	Norte
Dormitório 5	11,00	Norte
Dormitório 6	11,00	Sul
Dormitório 7	11,00	Sul
Dormitório 8	11,00	Sul
Dormitório 9	11,00	Sul
Dormitório 10	11,00	Sul
Sala	28,00	Norte e Leste
Cozinha	28,00	Sul e Oeste

Fonte: Autoras

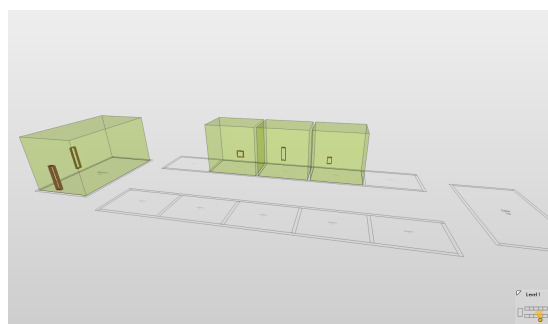
Com base na análise do projeto e na verificação das regras no Solibri, os resultados em relação às áreas de ventilação e de elementos transparentes foram identificados nas figuras 26 à 29. Dessa forma, foram obtidas 9 áreas de ventilação abaixo de 7%, sendo 4 na fachada sul e 5 nas demais fachadas, uma área de elementos transparentes acima de 30% na fachada sul e uma área de elementos transparentes acima de 20% nas demais fachadas.

Figura 26 - Áreas de ventilação f. sul



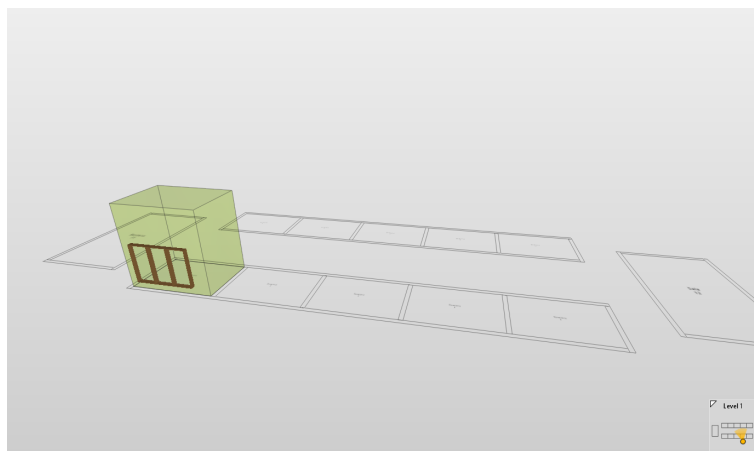
Fonte: Autoras

Figura 27 - Áreas de ventilação demais f.



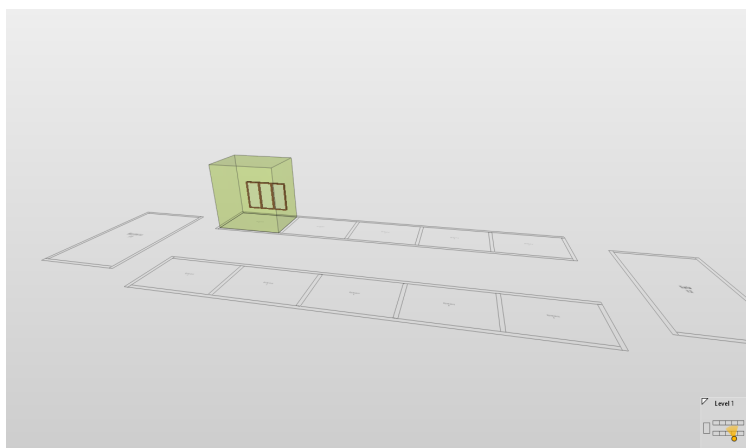
Fonte: Autoras

Figura 28 - Áreas de elementos transparentes acima de 30% (fachada sul)



Fonte: Autoras

Figura 29 - Áreas de elementos transparentes acima de 20% (demais fachadas)



Fonte: Autoras

A partir dos dados das tabelas 06 e 07, foi realizado o cálculo manual através do Excel em relação ao atendimento mínimo da área de abertura de para ventilação e iluminação e realizado a comparação com os dados extraídos do Solibri. O resultado pode ser observado na tabela 08.

Tabela 08- Cálculo ventilação e elementos transparentes

ÁREA DE ABERTURA DE JANELAS									
Ambiente	Área do Ambiente (m ²)	Esquadria	Área da Esquadria (m ²)	Ventilação (>7%)			Elementos Transparentes (<20% e 30%)		
				Calculado	Solibri		Calculado	Solibri	
FACHADAS NORTE, LESTE E OESTE									
Sala	28,00	90 x 180 cm	1,62	17,36%	OK	OK	17,36%	OK	OK
		90 x 180 cm	1,62						
		90 x 180 cm	1,62						
Dormitório 1	11,00	90 x 180 cm	1,62	44,18%	OK	OK	44,18%	X	X
		90 x 180 cm	1,62						
		90 x 180 cm	1,62						
Dormitório 2	11,00	60 x 60 cm	0,36	3,27%	X	X	3,27%	OK	OK
Dormitório 3	11,00	40 x 120 cm	0,48	4,36%	X	X	4,36%	OK	OK
Dormitório 4	11,00	40 x 60 cm	0,24	2,18%	X	X	2,18%	OK	OK
Dormitório 5	11,00	90 x 120 cm	1,08	19,64%	OK	OK	19,64%	OK	OK
		90 x 120 cm	1,08						
Cozinha	28,00	40 x 180 cm	0,72	2,57%	X	X	2,57%	OK	OK
FACHADA SUL									
Dormitório 6	11,00	90 x 180 cm	1,62	44,18%	OK	OK	44,18%	X	X
		90 x 180 cm	1,62						
		90 x 180 cm	1,62						
Dormitório 7	11,00	90 x 120 cm	1,08	9,82%	OK	OK	9,82%	OK	OK
Dormitório 8	11,00	90 x 60 cm	0,54	4,91%	X	X	4,91%	OK	OK
Dormitório 9	11,00	60 x 180 cm	1,08	9,82%	OK	OK	9,82%	OK	OK
Dormitório 10	11,00	40 x 180 cm	0,72	6,55%	X	X	6,55%	OK	OK
Cozinha	28,00	40 x 180 cm	0,72	2,57%	X	X	2,57%	OK	OK

Fonte: Autoras

Com base nos dados apresentados na tabela 08, pode-se notar que os dados coletados no Solibri são compatíveis com os dados calculados, desta forma podemos estabelecer que as regras geradas foram rodadas de forma correta e

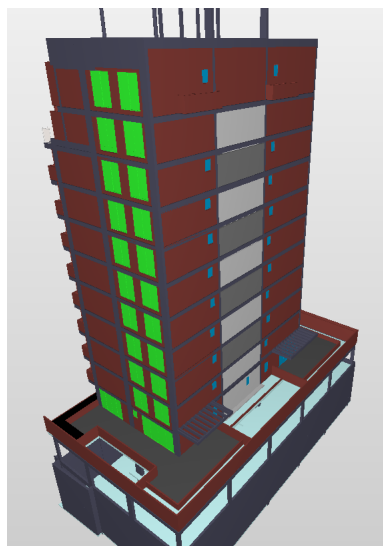
satisfatória. Assim, foi executada a próxima etapa de análise, partindo então para a aplicação da regra no projeto analisado.

4.5 Análise de dados aplicando as regras no modelo BIM do projeto gerado em Revit

Com os testes concluídos, foi utilizado o projeto modelado em Revit para que os parâmetros das janelas das fachadas fossem alterados de forma que pudessem ser classificados. O intuito deste procedimento foi colocar em prática os testes executados, a fim de verificar a validade do processo. Desta forma, foram aplicados os procedimentos descritos no tópico 4.1 com algumas adaptações.

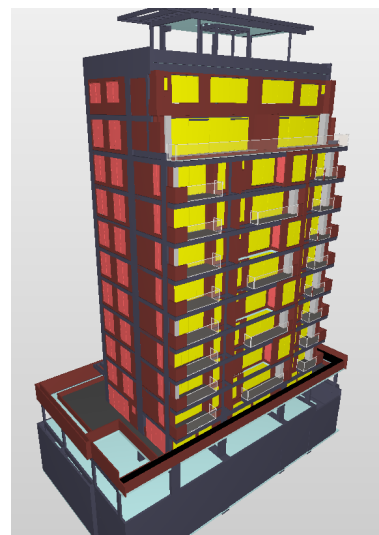
No início do processo as esquadrias foram classificadas por fachadas e podem ser vistas nas figuras 30 e 31. Na figura 30 estão em azul as esquadrias da fachada sul e em verde as esquadrias da fachada oeste. Na figura 31 estão em amarelo as esquadrias da fachada norte e em rosa as esquadrias da fachada leste.

Figura 30 - Esquadrias fachada S e O



Fonte: Autoras

Figura 31 - Esquadrias fachada N e L



Fonte: Autoras

Conforme foi pontuado na Figura 03 da fundamentação teórica de desempenho térmico do presente TCC, segundo Lamberts *et al* (2014) uma janela do tipo correr tem 50% de área útil de ventilação. Desta forma, visto que o empreendimento conta com janelas do tipo de correr, realizou-se uma adaptação na equação 01 de abertura de ventilação, utilizando área transparente da esquadria, para encontrar a nova proporção entre área de abertura e área de ventilação. A adaptação pode ser vista na equação 03.

$$\left(\frac{\frac{A_{T,APP}}{2}}{A_{P,APP}}\right) = Av, APP, jcorrer \geq 7\%$$

$$\left(\frac{1}{2} * \frac{A_{T,APP}}{A_{P,APP}}\right) = Av, APP, jcorrer \geq 7\%$$

$$\frac{A_{T,APP}}{A_{P,APP}} = Av, APP, jcorrer \geq 14\%$$

Eq. (03)

Onde:

$Av, APP, jcorrer$ = área de ventilação de ambiente de permanência prolongada com janela de correr

Desta forma, alterando a porcentagem mínima de 7% para 14%, manteve-se a proporção para o caso de janelas com abertura igual a metade da sua área bruta total, e com isso obteve-se os resultados. Para os casos de cômodos com janelas para o sul, não houve problemas encontrados em relação ao atendimento da área mínima de ventilação e área máxima de elementos transparentes conforme figura 32.

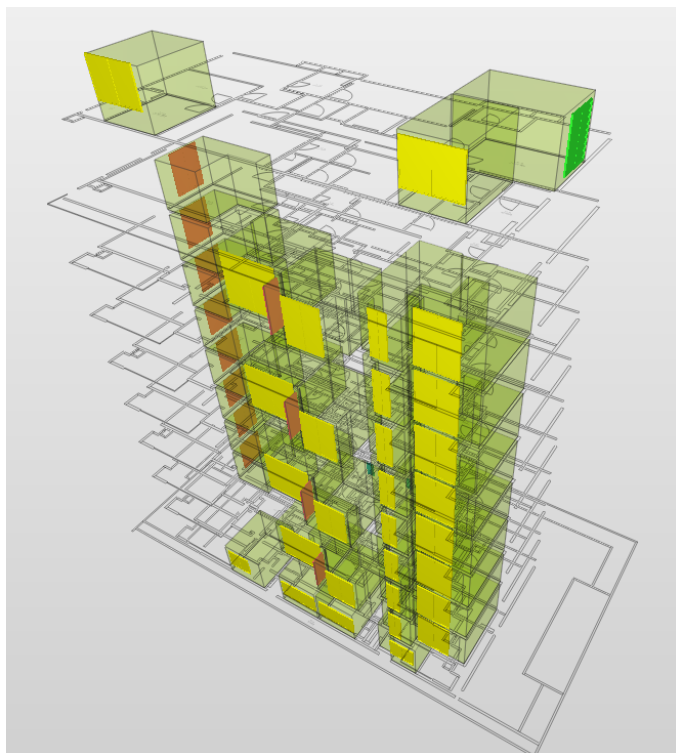
Figura 32 - Análise de atendimento à área mínima de ventilação e área máxima de elementos transparentes para fachadas sul

Ruleset - Checked Model								
▼ TESTE DESEMPENHO								
▼ 1. Janelas Sul								
▼ § 1.1 Selecionando as janelas sul								
§ 1.2 Verificação de abertura da janela								OK

Fonte: Autoras

Para o caso de demais fachadas, não foram encontrados problemas relacionados ao atendimento da área mínima de ventilação de 14% (adaptado conforme equação 03), porém foram apontados ambientes com área acima de 20% conforme ilustrado na figura 33.

Figura 33 - Área de elementos transparentes acima de 20% da área de piso.



Fonte: Autoras

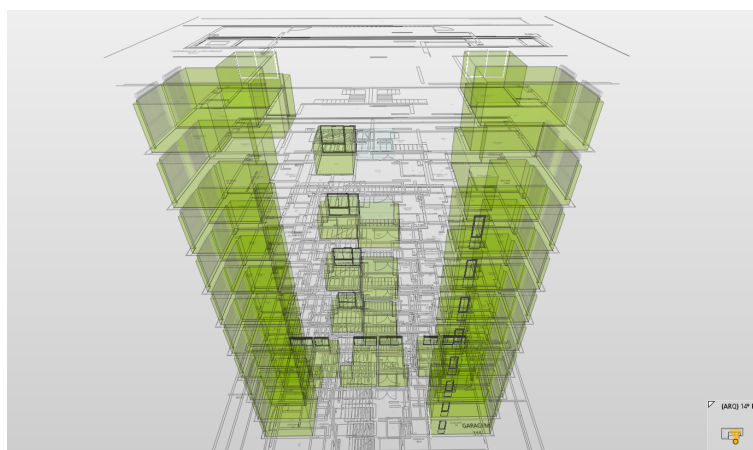
Nos casos de percentual superior a 20%, segundo a ABNT NBR 15575- 4 (Tabela 16) é necessário que uma das 3 soluções sejam aplicadas:

- 1) Uso de vidros de alto desempenho;
- 2) Instalação de elementos de sombreamento horizontal;
- 3) Realizar a avaliação do APP através de simulação computacional.

4.6 Análise de dados aplicando as regras ao modelo BIM em formato .IFC do projetista arquitetônico

O projeto encaminhado pelo projetista não possui os parâmetros de análise que foram estabelecidos neste TCC, diferenciando janelas por fachadas. Desta forma, foi executada a regra utilizando a área máxima de elementos transparentes como sendo 20% e para a área mínima de abertura de ventilação foi utilizada a adaptação realizada na equação 03, estabelecendo a área em 14%. O intuito é avaliar se haverá uma diferença muito grande entre o projeto modelado com os requisitos de informação e o projeto encaminhado pelo projetista, analisando e apontando áreas que estejam em desconformidade com o desempenho mínimo estabelecido pela NBR 15575-4. Os resultados podem ser observados na figura 34.

Figura 34 - Área de elementos transparentes acima de 20% da área de piso.



Fonte: Autoras

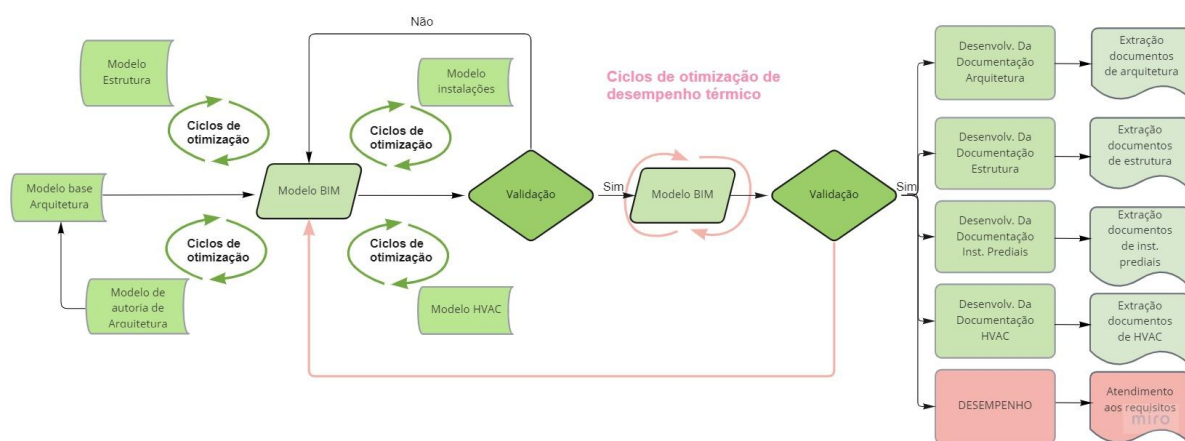
Com base na Figura 34, pode-se verificar que não houve muita divergência entre a análise aplicada no projeto modelado pelo projetista e o projeto modelado com base nos requisitos estabelecidos no item 4.2 do presente TCC. As diferenças podem ter ocorrido devido a diferenças na modelagem e uso de esquadrias diferentes das esquadrias criadas pelo projetista.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conhecimentos adquiridos neste trabalho foram de grande relevância para demonstrar os critérios e requisitos estabelecidos na parte 4 da NBR 15575 (ABNT, 2021), e como estes aspectos da Norma de Desempenho poderiam ser incorporados no fluxo de projetos BIM.

Para Andrade e Silva (2017), no processo colaborativo do desenvolvimento de um projeto de uma edificação, várias disciplinas e especialistas precisam interagir na troca de informações. (ANDRADE e SILVA, 2017). Dentro do fluxo de trabalho que descreve o processo dos projetos em BIM apresentado pela ABDI (2022), é feita a recomendação que este seja mais detalhado em cada empresa. Pode-se constatar que a avaliação de desempenho, especificamente o desempenho térmico que foi abordado neste TCC, precisaria fazer parte deste fluxo de projeto, como demonstra a Figura 35 adaptada.

Figura 35: Fluxo de Projetos em BIM com a incorporação da avaliação de desempenho da NBR 15.575.



Fonte: Autoras

A NBR 15.575 (norma de desempenho) tem por foco os requisitos dos usuários com relação ao edifício habitacional quanto ao comportamento da edificação em uso, e não como os sistemas são construídos (normas prescritivas).

Os modelos de arquitetura, instalações, estruturas, HVAC, e outros, seguem normalmente normas prescritivas. O modelo BIM colaborativo precisa, a partir do momento que foi validado pelas normas prescritivas, considerar também os aspectos da Norma de Desempenho.

A otimização da gestão de projetos BIM pode ser uma realidade para algumas empresas, entretanto existem empresas que ainda se utilizam de processos antigos de projeto, ou estão gradativamente se adequando ao BIM. Por isso, este TCC buscou apresentar estratégias que poderiam ajudar na aquisição de informações de um projeto de uma edificação residencial, tanto de forma manual (fluxograma e checklist) quanto mais automatizada (checklist e automação no Solibri), para a elaboração de laudo de desempenho térmico.

Entretanto, durante o desenvolvimento deste TCC, observou-se que é necessário seguir algumas etapas para realizar essa verificação automatizada. Fez-se necessária a padronização das diretrizes de modelagem e adoção dos sistemas de classificação da informação. Assim como executado no presente trabalho, há a necessidade da realização de múltiplos testes em modelos para o aperfeiçoamento da proposta de parametrização das regras. O trabalho permitiu constatar que o processo de verificação automática está diretamente ligado ao processo de modelagem e, portanto, é necessário que estas definições estejam estabelecidas antes do início do projeto no plano de execução BIM (PEB). O PEB é um documento inclusivo, desenvolvido e editado ao longo do tempo tanto para a organização interna como para as expectativas externas (KENSEK, 2018).

A automação da verificação dos requisitos normativos através de regras dentro de um software de compatibilização (software Solibri no caso deste TCC), apesar de inovadora e pouco difundida, é uma realidade proporcionada pela metodologia BIM. O presente trabalho pretende contribuir tanto para a verificação de projetos arquitetônicos em relação às normas vigentes para elaboração de laudos de desempenho térmico pelo procedimento simplificado, quanto em relação à redução de tempo em que os projetistas e analistas de órgãos públicos

demandam nesta verificação. A verificação automatizada de desempenho térmico pelo método simplificado, ou a obtenção de características geométricas e de propriedades térmicas de parâmetros construtivos, mostraram-se mais viáveis em relação ao processo manual de conferência dos projetos.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A automatização de processos dentro do BIM é um campo de análise amplo. Cada vez mais são estudadas aplicações que proporcionam eficiência em processos e projetos BIM. Dessa forma, as linhas de pesquisa que podem surgir deste tema, ainda visando a automatização do processo são:

- Ampliar a automatização da norma de desempenho térmico para o sistema de coberturas;
- Realizar essas automatizações para outras categorias da norma de desempenho, verificando assim, o desempenho da edificação como um todo e o atendimento em relação às normativas vigentes;
- Aplicação do mesmo procedimento para outras zonas bioclimáticas;
- Avaliar uma forma de extrair do Solibri a informação de qual foi a porcentagem excedente de área de elementos transparentes no caso de superarem os 20% estabelecidos pela norma, e já fazendo recomendações de soluções possíveis.

Além disso, neste trabalho foram encontradas janelas que passavam a área máxima de elementos transparentes, nestes casos a recomendação é a avaliação pelo método computacional. Então sugere-se ainda, uma nova avaliação do projeto utilizando a simulação computacional.

7.REFERÊNCIAS

ABDI AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Guia 1: Processo de Projeto BIM**. Brasília, DF: ABDI, 2017a.

ABIVIDRO. **Vidros de alto desempenho e eficiência energética em edificações**. Disponível em: <<https://abividro.org.br/fernando-westphal/>>. Acesso em: 11 Jul. 2022

ADALBERTH, K. **Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: Examples**. *Building and Environment*, v. 32, n. 4, p. 321–329, 1997.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley Moacyr. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Edgard Blucher, 2011. 141 p. ISBN 9788521206101.

AIA, **American Institute of Architects. Building Information Modeling Protocol Exhibit – E202**. AIA Document E20. 2008. 9p.

ANDRADE E SILVA, Flávio. **Verificação automática dos requisitos de projetos na norma de desempenho pela plataforma BIM Solibri Model Checker**. 2017. Dissertação (Pós Graduação) - Curso de Pós Graduação em Construção Civil.

ANDRADE, F.; ARANTES, E. **Verificação automática de requisitos de projetos da norma de desempenho NBR 15.575 a partir da adequação de regras da plataforma BIM Solibri Model Checker**. In: 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia e Comunicação na Construção e 10º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. Fortaleza, Ceará, 2017.

AsBEA. **Guia sustentabilidade na arquitetura : diretrizes de escopo para projetistas e contratantes. Grupo de Trabalho de Sustentabilidade**. São Paulo : Prata Design, 2012. Disponível em: <<http://www.asbea.org.br/userfiles/manuais/ddd50562c4b73b92d785531d2f5b5bde.pdf>> Acesso em: 03/02/2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edifícios habitacionais – Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2021a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edifícios habitacionais – Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais**. Rio de Janeiro, 2021b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5: Edifícios habitacionais – Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Cobertura**. Rio de Janeiro, 2021c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 19650-1:2022: **Organização e digitalização da informação acerca de edificações e construção civil, incluindo a modelagem da informação da construção - Gestão da informação utilizando a modelagem da informação da construção (BIM) - Parte 1: Conceitos e fundamentos**. Rio de Janeiro, 2022

ASHRAE – American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioned Engineers. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, USA, Standard 55-1992.

AUTODESK. **What are the benefits of BIM? 2020**. Disponível em: <https://www.autodesk.com/solutions/bim/benefits-of-bim>. Acesso em: 28 mar. 2022.

ALVIM, L. G. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E DO CONFORTO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO VENTILADA NATURALMENTE SEGUNDO AS NORMAS**

BOMFIM, Carlos. **Gestão de Obras com BIM – Uma nova era para o setor da Construção Civil**. SIGraDi 2016, XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, [S. l.], p. 3, 9 nov. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética. Brasília: MME, 2011

BRASILEIRAS DE DESEMPENHO TÉRMICO E A ASHRAE 55. 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UFMG, Belo Horizonte, 2015.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. 263 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: . Acesso em: 30 maio 2019.

BRASIL. Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020. **Utilização de BIM na execução direta ou indireta de serviços de engenharia de obras públicas.** Brasília, 2020.

BRASIL. NBR 16636-2 (ABNT): **Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos.** junho, 2017. Disponível em: https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2017/07/P_ABNTNBR16636-2_2017CN-1.pdf. Acesso em: 20 de Dezembro de 2021.

BRITO, A. C.; FABRÍCIO, M. M.; VITTORINO, F. **Avaliação de desempenho de tecnologias inovadoras: conforto ambiental, durabilidade e pós-ocupação.** 398 f. Editora Scienza: São Carlos, 2017.

CAETANO, F.S. Florianópolis, 2021. **Proposta e aplicação de fluxo de trabalho para uso da metodologia BIM no processo de orçamentação (BIM 5D).**

CÂNDIDO, C. Florianópolis, 2010. **Indoor air movement acceptability and thermal comfort in hot-humid climates.** 2010.180f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013.** 2. ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 308p.

CATELANI, W.; SANTOS, E. T. **Normas brasileiras sobre BIM.** 2018. 54 - 59 p. Disponível em: <https://www.makebim.com/wp-content/uploads/2017/05/NORMAS-BIM-BRASIL.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2019.

COELHO, B. A. A.; SOARES, L. C. R.; RIBEIRO, Q. M. M.; OLIVEIRA, R. O. C. PEDROSA, R. A. BATISTA, V. C. G. **Compatibilização De Projetos Edifício Professor. Trabalho Interdisciplinar Projeto Aplicado** (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Universitário UNA, Belo Horizonte, MG, 2018.

COUTO, Paula. **CONTRIBUTO DA ISO 19650-1 PARA A ORGANIZAÇÃO E DIGITALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO UTILIZANDO A METODOLOGIA BIM,** ResearchGate. Lisboa, Janeiro de 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348744163_Contributo_da_ISO_19650-1_para_a_Organizacao_e_Digitalizacao_da_Informacao_Utilizando_a_Metodologia_BIM>. Acesso em: 11 jul. 2022.

CHIVELET, Nuria Martín; SOLLA, Ignacio Fernández. **Técnicas de Vedação Fotovoltaica na Arquitetura**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CHONG, H. Y.; LEE, C. Y.; WANG, X. **A mixed review of the adoption of Building Information Modeling (BIM) for sustainability**. *Journal of Cleaner Production*, v 142, p 4114-4126, 2017.

Dresch, A., Lacerda, D. P., & Antunes Jr., J. A. V. (2015). **Design science research: A method for science and technology advancement**. New York: Springer.

DURANTE, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

EASTMAN, Chuck; et al. **Manual de BIM: Um guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. 1° ed Porto Alegre: Bookman, 2008.

EASTMAN, C. et al. **Automatic Rule-based Checking of Building Designs**. *Automation in Construction*, v. 18, p. 1011 – 1033, jul. 2009. Elsevier BV.

EPE. **Atlas da Eficiência Energética Brasil 2019: relatório de indicadores**. Brasília: EPE, 2020. 149 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 09 de maio de 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional. Relatório Síntese 2022 / Ano base 2021**. Rio de Janeiro: 2022. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf#search=ben%202022>. Acesso em 01 jun. 2022.

FOLIENSTE, G. et al. **Performance based building r&d roadmap**. [s.l.] : PeBBu, 2005. Disponível em: http://www.pebbu.nl/resources/allreports/downloads/03_RTD.pdf. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2022.

GIGLIO, T. G. F.; BARBOSA, M. J. **Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira**. Ambiente Construído, v. 6, n. 3, p. 91-103, 2006.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

GONÇALVEZ, J.C.S.; BODE, K. (org.). **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 592 p

IEA. **EBC Annex 53: total energy use in buildings: analysis and evaluation methods**. Birmingham, 2016. 24 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012. Portaria n. 18.

KAMARDEEN, I. **8D BIM Modelling tool for accident prevention through design**. Faculty of Build Enviroment, University of New South Wales, Australia, 2010.

KELLET, P. **Tecnologia inapropriada? Experiências de vivenda social em Gran Bretaña**. Informes de la construcción, vol 42, nº 409, outubro,1990. Disponível em: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1443/1603>. Acesso em: 24 jan. 2022.

KEOUGH, I.; HAUCK, A. **From Pencils to Partners: The Next Role of Computation in Building Design**. In: R. Garber (Org.). *Workflows: Expanding Architecture's Territory in the Design and Delivery of Buildings*. p.74–81, 2017.

KENSEK, Karen. **BIM: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, Vol. 1, pag. 471-484, 2018.

KERN, A. P.; SILVA, A.; KAZMIERCZAK, C. D. S. **O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575 / 2013)**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 89–101, 2014. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/89989>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2022.

KOWALTOWSKI et al; **O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia**.2011.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de edificações**. Apostila disciplina ECV 5161. UFSC: Florianópolis, 2016. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf. Acesso em: 14/02/2022.

LAWSON, B. **How designers think: the design process demystified**. 4 ed. Oxford: Elsevier/Arquitetural, 2005.

LIMA, C. C. N. A. de. **Autodesk Revit Architecture 2013: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.

LORENZI, L. S. **Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse social térreas**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/96630>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2022.

MANZIONE, Leonardo. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. 2013. 343 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MARTINS, B. F. B. **Utilização de BIM e métodos de sustentabilidade em elementos na construção**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto, 2018.

MITIDIERI FILHO, C. V. **Qualidade e Desempenho na Construção Civil**. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios e Ciências e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007, cap. 2.

NATSPEC, **National Building Specification. BIM and LOD – Building Information Modeling and Level of Development. NATSPEC BIM, NATSPEC BIM Paper 001. Construction Information Systems Limited, Australia**, 2013. Disponível em: <https://bim.natspec.org/documents/natspec-bim-papers> Acesso em: 09 de maio de 2022.

NÓBREGA JUNIOR, C. L.; MELHADO, S. B. Coordenador de projetos de edificações: estudo e proposta para perfil, atividades e autonomia. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 8,n. 1, p. 69-89, jan.-jun. 2013.

NEDERVEEN, S.; BEHESHTI, R.; GIELINGH, W.: **Modelling concepts for BIM. Building Information Modeling and construction informatics – concepts and technologies**. New York: Information Science Reference, 2010, Capítulo 1, p1-15.

NICOLINE, Elda. **A norma de desempenho como orientação para a elaboração do código de obras de Santana Do Livramento – RS**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

OLIVEIRA, J.P.C. **Normatização BIM. Especificação do Nível de Desenvolvimento e Modelação por Objetivos**. 2016. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Portugal, 2016

OMORI, Matheus Yara. **ESTUDO DE EDIFICAÇÃO UTILIZANDO CONTAINER PARA FINS COMERCIAIS: CÁLCULOS PARA CONTROLE DA TEMPERATURA INTERNA**. Campo Mourão.

PESTANA, António. **APLICAÇÃO DE BIM 7D E REALIDADE AUMENTADA EM FACILITY MANAGEMENT**. Trabalho de Projecto ou Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, [S. l.], p. 7, 1 dez. 2019.

PINHO, Sérgio Miguel Ferreira de. **O MODELO IFC COMO AGENTE DE INTEROPERABILIDADE**. 2013. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2013.

PROJETEE. **Componentes Construtivos**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/projeteee/componentes-construtivos/>> . Acesso em: maio de 2022

REIS, L. L. **Requisitos para Níveis de Desenvolvimento em modelos BIM**. 2019. 105 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2019.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting buildings and cities for climate change**. Oxford: Architectural Press, 2009.

RODRIGUES, Priscilla. **Uma proposta de integração do modelo BIM ao sistema last planner**. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, [S. l.], p. 4, 5 dez. 2018.

RYU, J. et al, **Development of Process for Interoperability Improvement of BIM Data for Free-form Buildings Design using the IFC Standard**. International Journal of Software Engineering and Its Applications, v. 10, p.

127-138, 2016.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E. NICO-RODRIGUES, E. A.. **Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575**. Proarq 20, p. 144, 2020. Disponível em: http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/Proarq_20-114.pdf. Acesso em: 20 jan. 2022.

SANTOS FILHO, V. M. **Norma de Desempenho: Uma visão da história e de seu atendimento no cenário atual da indústria da construção civil**. 2015. In: Revista on-line IPOG – ESPECIALIZE, 2015, Brasília/DF.

SENA, T. S.; FERREIRA, E. A. M. A. **Aplicação da metodologia BIM para a compatibilização de projetos**. In: GUIMARÃES, Caroline Duarte et al. Inovação, Produtividade e Empreendedorismo na Engenharia Civil - Melhores de 2012. Bahia: [s. n.], 2013. cap. 2, p. 29-46.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 14, n. 1, p.213-230, jan./mar.2014.

SILVA, A. T. et al. **Novas exigências decorrentes de programas de certificação ambiental de prédios e de normas de desempenho na construção**. Arquiteturarevista, São Leopoldo, v. 10, n. 2, p. 105–114, 2014. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/arq.2014.102.06/4487>. Acesso em: 14 de Fevereiro de 2022.

SMITH, P. **BIM & the 5D project cost manager**. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2014, 119: 475-484

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. **Classification of rules for automated BIM rule checking development**. Automation in construction, 53, p. 69-82, mar. 2015. Elsevier BV.

SORGATO, José; MELO, Ana; MARINOSKI, Deivis; LAMBERTS, Roberto; **Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/wdq9tcDJSDCcNF9yBtfxHS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2021.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da Norma NBR 15575**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., Brasília, 2013. Anais... Brasília: ANTAC, 2013.

SOUZA, R. **Conceito de desempenho aplicado às edificações**. 1 ed. São Paulo: Tula Melo, 2015. 52 p.

SUCCAR, B. Building Information Modelling Framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, n. 18, p.357, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Checklist

Avaliação do Desempenho Térmico com Base na NBR 15575-4/2021 - Padrões para automatização e checklist de informações

Requisitos de informações dos elementos (RIE)				
Padrões de nomenclatura				
Tipo de arquivo	Nomenclatura		Check	Justificativa
Revit / IFC	CNT_PRJ_ARQ_V00		OK	Ter uma nomenclatura padrão no arquivo facilita na atualização do arquivo e na localização de versões anteriores
Família de janelas	JANELA_TIPO ABERTURA_FOLHAS_MATERIAL_DIMENSÕES		OK	Identificar facilmente através do nome o tipo de janela que está sendo usado
Alvenaria de vedação	ALV_TIPO DE BLOCO_ESPESSURA		OK	Identificar facilmente através do nome o tipo de alvenaria que está sendo usado
Revestimento interno	REV_INT_ARGAMASSA_ESPESSURA		OK	Identificar facilmente através do nome o tipo de revestimento de argamassa que está sendo usado
Revestimento de fachada	REV_EXT_FACHADA_MATERIAL_COR_ESPESSURA		OK	Identificar facilmente através do nome o tipo de revestimento que está sendo usado
Parâmetros de Esquadria				
Parâmetro	Local	Nomenclatura	Check	Justificativa
De instância	Janelas	FACHADA NORTE/ FACHADA SUL/ FACHADA LESTE/ FACHADA OESTE	OK	Auxilia na classificação de janela por pano de fachada
Ambientes no Revit				
Tipos de Local	Recomendação de nomenclatura padrão a ser adotada			Justificativa
Sala / Sala de Estar / Sala de Jantar	Sala			A padronização da nomenclatura dos ambientes de fachada auxilia na classificação das informações dentro do Solibri. Caso alguma nomenclatura precise ser alterada ou inserida, é necessário validar com o cliente.
Dormitório / Quarto	Dormitório			
Suíte	Suíte			
Cozinha	Cozinha			
Banheiro / Banho	Banheiro			
Área de Serviço	Área de Serviço			
Lavabo	Lavabo			

Itens a serem avaliados na NBR 15.575-4				
Transmitância térmica das paredes externas				
Sigla	Unidade	Nomenclatura	Check	Fórmula
U _{par,eq}	W/m²K	Transmitância térmica equivalente da parede externa	OK	$U_{par,eq} = \frac{\sum_{i=1}^n (U_{par,i} \cdot A_{par,sup,int,i})}{\sum_{i=1}^n A_{par,sup,int,i}}$
U _{par,i}	W/m²K	Transmitância térmica da parede externa		
A _{par,sup,int,i}	m²	Área de parede		
n	un	Número de segmentos da parede externa com transmitâncias térmicas distintas		
Em caso de dois revestimentos diferentes				
Sigla	Unidade	Nomenclatura	Check	Fórmula
α _{par,eq}	%	Absortância à radiação solar equivalente da superfície externa da parede	OK	$\alpha_{par,eq} = \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_{par,i} \cdot A_{par,sup,ext,i})}{\sum_{i=1}^n A_{par,sup,ext,i}}$
α _{par,i}	%	Absortância à radiação solar da superfície externa da parede i		
A _{par,sup,ext,i}	m²	Área da superfície exterior da parede externa i		
n	un	Número de segmentos da parede externa com absortâncias distintas		
Capacidade térmica das paredes externas				
Sigla	Unidade	Nomenclatura	Check	Fórmula
C _{Tpar,eq}	KJ/m²K	Capacidade térmica equivalente da parede externa i	OK	$C_{Tpar,eq} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{Tpar,i} \cdot A_{par,sup,int,i})}{\sum_{i=1}^n A_{par,sup,int,i}}$
C _{Tpar,i}	KJ/m²K	Capacidade térmica da parede externa i		
A _{par,sup,int,i}	m²	Área da superfície interior da parede externa i		
n	un	Número de segmentos da parede externa com capacidade térmica distintas (n)		
Percentual de abertura para ventilação				
Sigla	Unidade	Nomenclatura	Check	Fórmula
P _{v,app}	%	Percentual de abertura para ventilação do APP	OK	$P_{v,APP} = 100 \cdot \frac{(A_{v,APP})}{(A_{p,APP})}$
A _{v,app}	m²	Área efetiva de abertura para ventilação do APP		
A _{p,app}	m²	Área do piso do APP		

Necessário se atentar à tabela 15 abaixo retirada da NBR 15.575/2021 para estabelecer os critérios de cálculo

Elementos transparentes				
Sigla	Unidade	Nomenclatura	Check	Fórmula
P _{t,app}	%	Percentual de elementos transparentes do APP	OK	$P_{t,APP} = 100 \cdot \frac{(A_{t,APP})}{(A_{p,APP})}$
A _{t,app}	m²	Área de superfície dos elementos transparentes do APP		
A _{p,app}	m²	Área de piso do ambiente onde está o elemento transparente		

Necessário se atentar à tabela 16 abaixo retirada da NBR 15.575/2021 para estabelecer os critérios de cálculo

Necessário se atentar às tabelas 17 e 18 para particularidades na análise

Tabela 15 – Percentual de abertura de referência para ventilação

Percentual de abertura para ventilação (P _{v,APP})		
%		
ZB ^a 1 a 7	ZB 8 - Região Norte do Brasil	ZB 8 - Regiões Nordeste e Sudeste do Brasil
P _{v,APP} ≥ 7,0 % da área de piso	P _{v,APP} ≥ 12,0 % da área de piso	P _{v,APP} ≥ 8,0 % da área de piso

^a ZB 8 é a zona bioclimática, definida pela ABNT NBR 15220-3.

Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de percentual de abertura para ventilação inferiores aos limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4.

NOTA Exclusivamente na aplicação desta Tabela, os APP relativos a quarto com closet podem considerar como área de piso (A_{p,APP}) somente o espaço delimitado pela ocupação do quarto, excluindo-se a área do closet.

Tabela 16 – Proporção de referência dos elementos transparentes

Percentual de elementos transparentes (P _{t,APP})	Área de superfície dos elementos transparentes (A _{t,APP})
%	m²
A _{v,APP} ≤ 20,0 m²	A _{t,APP} > 20,0 m²
P _{t,APP} ≤ 20 %	A _{t,APP} ≤ 4,0 m²

Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de P_{t,APP} ou A_{t,APP} que ultrapassem os limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, caso não considerem vidros de alto desempenho ou elementos do sombreamento horizontal.

Tabela 18 – Percentual de elementos transparentes em função do ângulo vertical de sombreamento para UH localizadas nas zonas bioclimáticas 3 a 8

Percentual de elementos transparentes (P _{t,APP})			
%			
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	Latitudes < -15°		Latitudes ≥ -15°
	Fachadas Leste e Oeste	Fachada Norte	
30	22	24	23
35	23	27	23
40	25	29	24
45	27	33	25

Nos APP com mais de um elemento transparente protegido por sombreamento horizontal, com valores distintos de AVS ou localizados em fachadas diferentes, deve-se considerar o percentual de elementos transparentes de menor valor.

Para A_{v,APP} maior que 20,0 m², deve-se respeitar o limite de A_{t,APP}, obtido pela multiplicação do P_{t,APP} pela área de 20,0 m².

Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de percentual de elementos transparentes que ultrapassem os limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4.

Tabela 17 – Percentual de elementos transparentes em função do fator solar ou do nível de etiqueta da esquadria para UH localizadas nas zonas bioclimáticas 3 a 8 (continua)

Percentual de elementos transparentes (P _{t,APP})	Fator solar (FS) máximo	Nível da etiqueta de desempenho da esquadria		
		Latitudes > -15°	-15° ≥ Latitudes ≥ -25°	Latitudes < -25°
%	%	Sem limites	Sem limites	Sem limites
≤ 20	Sem limites			
21	0,64	D	D	E
22	0,61	D	D	E
23	0,58	D	D	E
24	0,55	D	D	E
25	0,52	C	D	E
26	0,50	C	D	E
27	0,47	C	C	E
28	0,45	C	C	E
29	0,40	B	C	D
30	0,38	B	B	D
31	0,36	B	B	D
32	0,34	B	B	D
33	0,32	A	A	D
34	0,30	A	A	D
35	0,28	A	A	C
36	0,26	A	A	C
37	0,24	A	A	C
38	0,22	A	A	C
39	0,20	A	A	C
≥ 40				

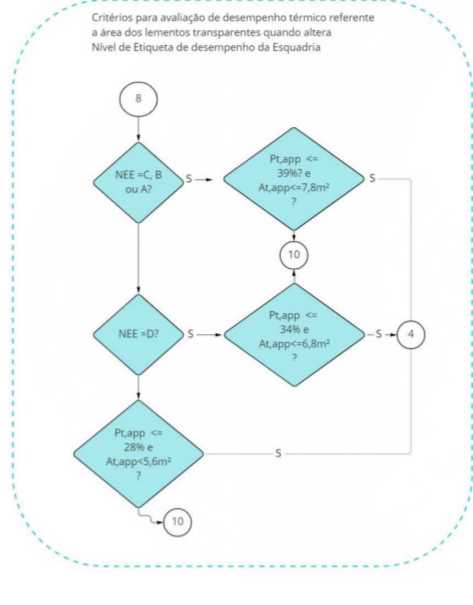
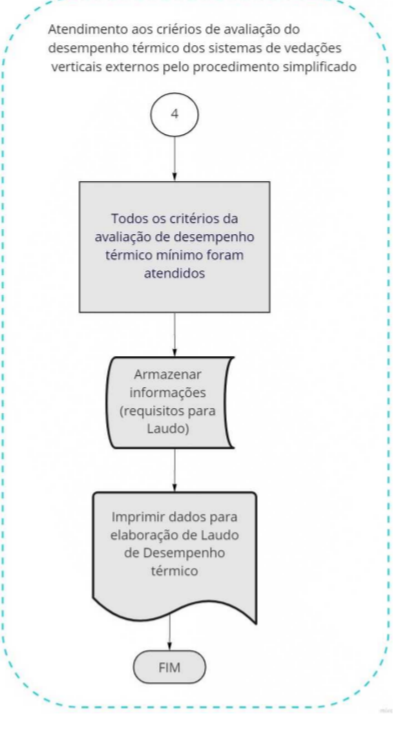
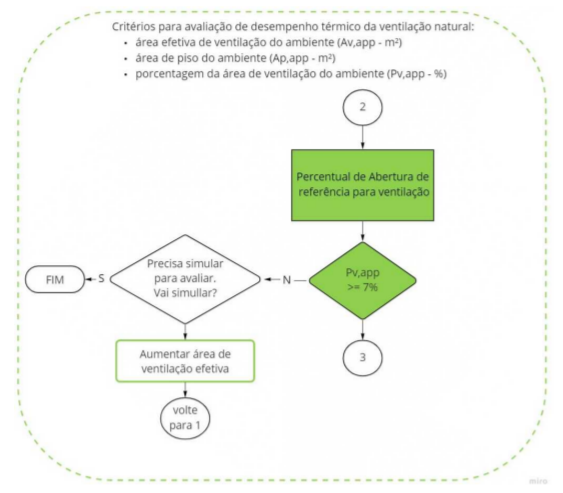
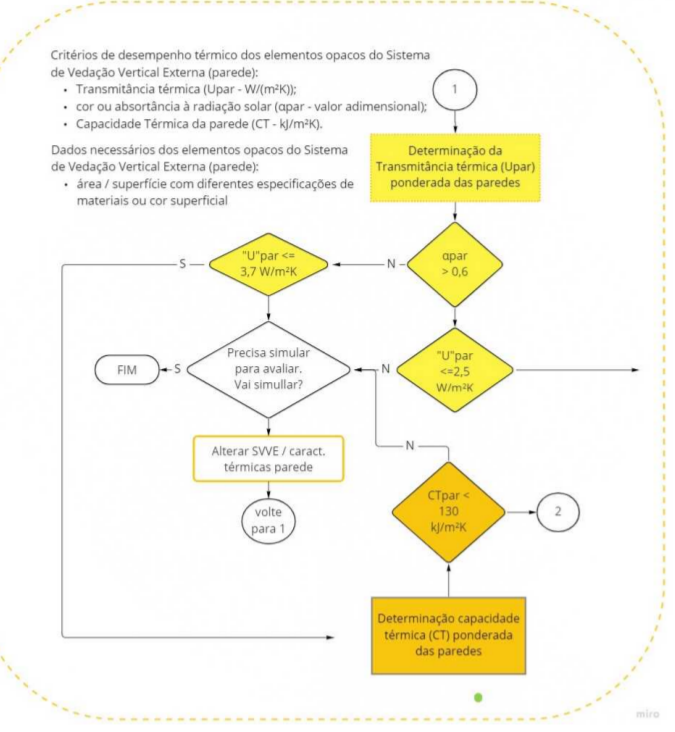
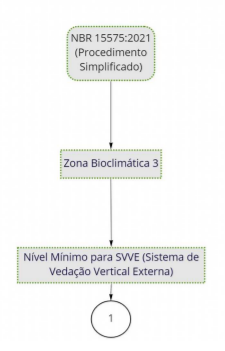
≥ 40 Avaliação pelo procedimento de simulação computacional

Se aplicados os limites desta Tabela nos APP com A_{v,APP} maior que 20 m², deve-se respeitar o limite de A_{t,APP}, obtido a partir da multiplicação do P_{t,APP} pela área de 20 m².

Unidades habitacionais com APP que adotarem valores de percentual de elementos transparentes que ultrapassem os limites desta Tabela devem ser avaliadas por meio do procedimento de simulação computacional, conforme a ABNT NBR 15575-1:2021, 11.4.

NOTA O nível da etiqueta de desempenho da esquadria é obtido por meio da aplicação dos procedimentos descritos na ABNT NBR 10821.

APÊNDICE B – Fluxograma



Crerios para avaliaç6o de desempenho t6rico referente 6 área dos elementos transparentes quando altera Fator Solar

